Bayerische Berg-, Hütten- und Salzwerke
Bibliothek:
Gruppe: II H
B. Nr. 36
Aktiengesellschaft

II H

BHS II H 36-2

Elementarisches Handbuch

der

industriellen

Physik, Mechanik und Hydraulik.

von

Dr. Christoph Bernoulli,

Professor in Basel.

[illegible]

Zweiter Band.

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

183[illegible].

Elementarisches Handbuch

der

industriellen

Physik, Mechanik und Hydraulik.

Von

Dr. Christoph Bernoulli,

Professor in Basel.

BIBLIOTHEK
DER K:B:GENERAL
BERGW: U. SALINEN
ADMINISTR.

Zweiter Band,

industrielle Mechanik und industrielle Hydraulik enthaltend.

Mit 11 Steindrucktafeln.

Stuttgart und Tübingen,

Verlag der J. G. Cotta'schen Buchhandlung.

1835.

Bayerische Staatsbibliothek München

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Dritte Abtheilung.

Industrielle Mechanik.

Einleitung.

§. 450. Die **Mechanik** ist derjenige Theil der Physik, der die Gesetze und Phänomene der Bewegung untersucht. (§. 3.)

Die Mechanik imengern Sinne handelt von der Bewegung der festen Körper, und die **technische** oder **industrielle Mechanik** insbesondere oder vorzugsweise von denjenigen Bewegungen, die wir in den Künsten und Gewerben oder zu technischen oder industriellen Zwecken veranstalten. (5)

Jede Bewegung sezt eine bewegende Kraft voraus (45): und jede Kraft wirkt mit einer gewissen **Stärke** und nach einer gewissen **Richtung**. Wirken zwei Kräfte einander entgegen, so ergibt sich, wenn beide gleich stark sind, keine Bewegung. Beide halten sich das Gleichgewicht. Sowie aber die eine stärker wirkt als die andere, muß jene eine Bewegung hervorbringen. Wichtig ist daher vor Allem, so oft entgegenwirkende Kräfte vorkommen, die Verhältnisse zu kennen, unter denen das **Gleichgewicht** Statt findet. Derjenige Theil der Mechanik, der die Gleichgewichtsgesetze untersucht, heißt die **Statik**.

Je stärker die Kraft ist, die einen Körper in Bewegung sezt, desto **größer** muß die bewirkte **Bewegung** seyn. Die Bewegung ist aber eine größere, sowohl wenn die **Geschwindigkeit** als wenn die **Masse** des bewegten Körpers größer ist. (47) Die **Größe der Bewegung** ist also aus zwei Elementen zu beurtheilen, oder als das Produkt zweier Faktoren zu betrachten. Ebenso muß die bewegende Kraft aus diesen zwei Faktoren bestehen. ($q = mv$.)

§. 451. Gewöhnlich nennt man die Masse des zu bewegenden Körpers Last, und das Produkt der Masse in ihre Geschwindigkeit das Moment der Last: und ebenso nennt man den einen Faktor der bewegenden Kraft insbesondere Kraft, und Moment der Kraft das Produkt derselben in die Geschwindigkeit.

Das Gleichgewicht hat Statt, wenn die Momente von Kraft und Last (sowie sie sich bewegen wollten) einander so vollkommen gleich wären, daß eben deßhalb keine wirkliche Bewegung erfolgen kann. Man nennt diese Momente dann auch die statischen. Eine solche Gleichheit findet z. B. Statt, wenn ein Hebel mit angehängten Gewichten ruhig liegen bleibt.

Bringt die Kraft hingegen eine wirkliche Bewegung hervor, so sind zwar die statischen Momente nicht völlig dieselben, es müssen ebenfalls aber die Produkte der Kraft und Last mit ihrer respektiven und reellen Geschwindigkeit gleich seyn. Man sagt dann, daß ihre mechanischen Momente sich gleich sind.

Gewöhnlich werden die statischen und mechanischen Momente nicht unterschieden, weil streng genommen die mindeste Ungleichheit der ersteren eine wirkliche Bewegung erzeugt. Zieht an dem 3mal längern Arme eines Hebels ein 3mal kleineres Gewicht als an dem andern, so sind die statischen Momente gleich, und der Hebel ruht. Bei dem mindesten Uebergewicht sinkt aber dieses, und das Gewicht an dem längern Arme bewegt sich 3mal schneller als das andere; auch die mechanischen Momente sind daher = 3 zu setzen.

Ist die bewegende Kraft der Last gleich und unmittelbar darauf wirkend, so wird diese sich mit derselben Geschwindigkeit und in derselben Richtung bewegen müssen, wie die Kraft wirkt. Die Mechanik gibt uns indessen vielfache Mittel an die Hand, wodurch wir nicht nur die Bewegung von einem Körper auf einen andern übertragen, sondern auch Bewegungen in verschiedenen Richtungen und mit verschiedener Geschwindigkeit erhalten können, und dadurch eben werden wir in den Stand gesezt, die

mannichfaltigen Bewegungen hervorzubringen, deren wir zur Erreichung unserer Zwecke bedürfen.

§. 452. Die Vorrichtungen, mittelst welcher wir die Wirkungen der Kraft verändern, heißen Maschinen; man unterscheidet einfache und zusammengesezte Maschinen. Die leztern bestehen aus mehreren einzelnen einfachen, die zweckmäßig mit einander verbunden sind. Einen wesentlichen Theil der Mechanik macht daher die Maschinenlehre aus, und zunächst die Lehre von den verschiedenen einfachen Maschinen und den einfachen Verbindungen derselben oder den mechanischen Organen.

Durch eine Maschine kann die Kraft überhaupt nicht vermehrt werden; denn die Momente der Kraft und Last müssen sich gleich bleiben. Wohl aber kann dadurch das Verhältniß ihrer beiden Faktoren verändert werden.

Ist die Kraft = 10 und ihre Geschwindigkeit = 10, so ist ihr Moment = 100. Auch das mechanische Moment der Last muß hiemit = 100 seyn. Mit Hülfe einer Maschine wird nun aber möglich, durch obige Kraft jede Last mit einer gewissen Geschwindigkeit zu bewegen, sobald das Produkt beider = 100 bleibt, und möglich also, eine Last = 1 mit einer Geschwindigkeit = 100, oder umgekehrt eine Last = 100 mit einer Geschwindigkeit = 1 zu bewegen.

Gebraucht man also in der Mechanik den Ausdruck, daß man durch eine Maschine das 12 oder 20fache an Kraft gewinne, d. h. daß man eine Last mit einer 12 oder 20mal geringern Kraft zu heben vermag, so ist derselbe nur insofern richtig, als man auf die Geschwindigkeit keine Rücksicht nimmt; denn in demselben Verhältnisse muß an dieser verloren werden. Und eben so ist der Ausdruck zu verstehen, daß an Geschwindigkeit gewonnen werde.

Wendet man Maschinen an, um eine Last zu bewegen, oder einen Widerstand zu überwinden, so müssen ausserdem auch gewisse Theile der Maschine selbst bewegt werden. Die Kraft hat deßhalb ausser der eigentlichen Last noch andere Hindernisse oder eine Nebenlast zu überwältigen, und das mechanische Moment

der Kraft muß daher in der Regel um ein Bedeutendes größer seyn, als das der eigentlichen Last, oder als die erreichbare nützliche Wirkung oder der Nutzeffekt.

Wir theilen demnach diesen Abriß der Mechanik in zwei Theile. In einem allgemeinen werden wir vorerst von den bewegenden Kräften, dem Schwerpunkte, den einfachen Maschinen und Organen überhaupt, und den Hindernissen der Bewegung reden, — und in einem zweiten speziellen dann zeigen, wie jene Organe, um die zu allen industriellen Zwecken nöthigen Bewegungen hervorzubringen, angewendet werden mögen.

Erster Theil.

Allgemeine Mechanik.

Erster Abschnitt.

Von den bewegenden Kräften.

---

§. 453. Die technische oder industrielle Mechanik macht nur von wenigen Kräften Gebrauch, um alle die mannichfaltigen Bewegungen, die ihre Aufgabe sind, hervorzubringen.

Diese bewegenden Kräfte sind namentlich folgende:

1) Die Kraft des Menschen und einiger uns dienstbar gemachten Thiere.
2) Gewichte.
3) Federn.
4) Das Wasser.
5) Der Wind und die Luft.
6) Der Dampf. *)

Die ersten heißen belebte, die übrigen leblose Kräfte, und die drei lezten insbesondere auch Elementarkräfte.

---

*) In wenigen Fällen nur werden zu technischen Zwecken Bewegungen mit Hülfe anderer Kräfte hervorgebracht. Man wendet z. B. die Kraft des sich entzündenden Schießpulvers bisweilen an; ferner etwa die, mit der sich das Wasser ausdehnt, wenn es gefriert (§. 331), oder feste Körper, die man erwärmt (§. 162), oder poröse, wenn sie Wasser einsaugen. (§. 39.) Ueberdies werden oft Flüssigkeiten und Luft in Bewegung gesezt, indem man sie erwärmt, so daß sie leichter werden (§. 353), und Luftballons 2c., indem man ihr spezifisches Gewicht vermindert 2c.

Wir betrachten hier nur die Kraft der Menschen und Thiere, und die der Gewichte und Federn. Von der Kraft des Wassers wird in der lezten Abtheilung dieses Werkes die Rede seyn.

a) Vom Menschen als bewegende Kraft.

§. 454. Was die Menschen so wie die Thiere in den Stand sezt, Bewegungen auszuführen, ist ihre Muskelkraft. Wohl vermögen sie auch durch das Gewicht ihres Körpers als bewegende Kraft zu wirken, alsdann muß aber dieser erst gehoben werden, und dies geschieht wieder mittelst ihrer Muskelkräfte.

Es ist nicht leicht anzugeben, wieviel überhaupt ein Mensch oder ein Thier leisten kann, oder wie groß das mechanische Moment oder der Nutzeffekt desselben ist.

Vorerst ist die Stärke nach den Individuen schon ausnehmend verschieden. Alter, Geschlecht, Clima, Nahrung, Gesundheit und Uebung haben einen auffallenden Einfluß auf die körperliche Stärke.

Dann sind die beiden Faktoren (448), woraus sich das Kraftmoment ergibt, limitirt.

Kann ein Mann 30 Pfund mit $2\frac{1}{2}'$ Geschwindigkeit per Sekunde heben, so ist das Moment = 75. Er wird aber nicht 75 Pf. mit 1′ Geschwindigkeit und noch weniger 1 Pf. mit 75′ Geschwindigkeit heben können, obschon beide Leistungen das Aequivalent desselben Momentes sind; denn bei einer gewissen Größe der Last oder der Geschwindigkeit vermag er nichts. Das Maximum des Nutzeffekts muß daher bei einem bestimmten Verhältnisse der Last und Geschwindigkeit Statt finden.

Ferner muß jedes lebende Wesen immer einen bald größern, bald kleinern Theil seiner Muskelkraft verwenden, um den eigenen Körper zu heben; und es ist daher die nützliche Wirkung nicht nur überhaupt weit geringer als die absolute Kraft, sondern es muß bald mehr, bald weniger von dieser Kraft für den Nutzeffekt verloren gehen.

Endlich wird die Kraft aller Menschen und Thiere allmählig erschöpft, und zwar bald schneller, bald langsamer. Sie

bedürfen öfters der Ruhe. Die Leistung eines Menschen hängt daher nicht bloß von seinem Kraftmomente in einer Zeiteinheit ab, sondern auch von der Dauer der Anstrengung, deren er innert 24 Stunden z. B. fähig ist.

§. 455. Die Erfahrung lehrt u. a. Folgendes:

Ein guter Fußgänger kann unbeladen wohl 6000 Met. per Stunde zurücklegen und täglich $8\frac{1}{2}$ Stunde lang gehen. Er macht also 100 Met. per Min. (mit 125 Schritt), und täglich 51,000 Met. Ist sein Gewicht = 70 Kil., so wäre hiemit seine Leistung = 7000 Kil. 1 Met. weit per Min. anzusetzen.

Muß er noch ein Gewicht tragen, so ist die Leistung merklich kleiner. Die franz. Soldaten machen im gewöhnlichen Schritte kaum 3000, im Geschwindschritte etwa 4000 Met. per Stunde.

Beim österreich. Militär beträgt die Geschwindigkeit beim gewöhnlichen Schritte 3′ per Sek.; beim Reiseschritte 4′ und beim Dublirschritt 5′.

Beim Marsche macht das Militär täglich in 6 Stunden 3 Meilen (von 24,000′), und die Last beträgt c^a 36 Pf. Die Geschwindigkeit ist demnach $= \frac{10'}{3}$ per Sek. und die Leistung per Sek. (ohne den eigenen Körper) $= \frac{360}{3} =$ 120 Pf. 1′ weit.*) Der dritte Tag ist jedoch ein Rasttag.

Nach Coulomb tragen sehr starke Lastträger in einem Tage 58 Kil. 12,000 Met. weit auf ebenem Wege, wenn sie leer zurückgehen. Der Nutzeffekt ist also = 696 Kil. 1000 Met. weit. Ein Hausirer trägt (ohne zurückzugehen) 44 Kil. 20,000 Met. weit. Sein Nutzeffekt ist demnach = 880 Kil. 1000 Met. weit.

---

*) Oder per Tag c^a 432 Kil. 1000 Met. weit, indem sie 18 Kil. c^a 54,000 Met. weit tragen.

Rechnet man das Gewicht des Menschen (= 70 Kil.) hinzu, so ist die totale Leistung des Lastträgers (der leer zurückgeht) = 696,000 + (2 × 70 × 12,000) = 2,367,000 Kil. 1 Met. weit; und die des Hausirers

= 880,000 + 70 × 20,000 = 2,280,000 Kil.

und da die des Fußgängers, der unbeladen geht = 70 × 51,000 = 3,570,000 Kil. 1 M. weit ist, so sieht man, daß die Muskelkraft am meisten leistet, wenn der Mensch keine weitere Last, als die seines Körpers zu tragen hat, und daß beim Tragen immer der absolute Effekt vermindert wird.

Sieht man hingegen nur den Transport der eigentlichen Last als Nutzeffekt an, so scheint dieser am größten zu seyn, wenn die Last etwa 40 — 50 Kil. beträgt; denn obschon manche Träger 100 — 150 Kil. zu tragen vermögen, so halten sie doch die Anstrengung dann nicht lange aus.

§. 456. Starke Träger tragen etwa 5200 Kil. 10 Met. oder 52,000 Kil. 1 Met. hoch in einem Tage. Unbeladen kann ein Mann auf einer Straße, die um 1/7 steigt, wohl 3000 Met. hoch steigen; er erhebt also ein Gewicht von 70 × 3000 oder 210,000 Kil. 1 Met. hoch. *) Da nun jene Träger, wenn wir annehmen, daß die Last dem eigenen Gewichte gleich kommt, nur 104,000 Kil. 1 Met. hoch heben, so ist auch hier bei einer Beladung die Totalleistung um die Hälfte kleiner.

Aus diesem erhellt, daß Vorrichtungen, mittelst deren der Mensch durch sein Gewicht eine Last erheben könnte, so daß er zwar seinen eigenen Körper, aber bloß diesen zu erheben brauchte, sehr vortheilhaft seyn müßten.

Ein Mann kann nach Obigem an 300mal in einem Tage auf einem schiefen Wege 10 Met. hoch steigen. Würde er jedesmal auf eine bewegliche Platte a (Fig. 1) treten, so könnte er, indem er auf derselben hinabsinkt, durch sein Gewicht wenigstens 60 Kil. auf diese Höhe erheben, und hiemit einen Effekt von

*) Bei den Trägern in den Alpen beträgt der Effekt aber oft über 300,000 Kil. 1 Met. hoch.

300 × 60 × 10 oder 180,000 Kil. 1 Met. hoch hervorbringen, während er unmittelbar nur 52,000 Kil. eben so hoch zu tragen vermag. Bis jetzt sind indessen Vorrichtungen dieser Art wenig oder gar nicht gebräuchlich.

Aus demselben Grunde sind denn auch (wie wir sehen werden) Treträder ꝛc. vortheilhaft. Bei den englischen Treträdern beträgt der Effekt eines Mannes an 200,000 Kil. 1′ Met. hoch. Denn auch hier steigen die Arbeiter unbeladen, und wirken dann als bewegende Kraft durch ihr Gewicht.

Ebenso wird der Nutzeffekt oft weit größer, wenn man Maschinen anwendet. Nach Coulomb und Gueniveau ist die tägliche Leistung eines Mannes, wenn er die Last in Körben ꝛc. trägt = 690 Kil. 1000 Met. weit, mit Schubkarren = 1020 Kil. und mit Räderkarren = 2300 Kil.

Zieht ein Mann an einem Seile, so vermag er in einem Tage nur 75,000 Kil. 1 Met. hoch zu heben, arbeitet er an einer Kurbel, so steigt der Effekt auf 116,000 Kil. Bei Winden ꝛc. noch höher.

§. 457. Die **Menschenkraft** ist in der Regel die kostbarste. Sie hat indessen eigenthümliche Vorzüge. Sie läßt sich am leichtesten deplaciren, verschiedentlich anwenden und reguliren. Daraus geht aber hervor, daß sie nur in besondern Fällen unersetzlich oder vor andern nützlich ist. Immerhin ist darauf zu sehen, daß so viel möglich die körperliche Kraft auf die vortheilhafteste Weise, und daß überdies die *ganze* Kraft des Menschen verwendet werde. Auch deßhalb sind sehr oft Maschinen nöthig. Die Spinnmaschine oder der Bandstuhl z. B. sind darum hauptsächlich sehr vortheilhaft, weil beim Spinnen eines Fadens oder beim Weben eines einzigen Bandes der Arbeiter nur den kleinsten Theil seiner Kräfte anwenden kann. Andere Maschinen sind es vornehmlich, weil sie dem Menschen gestatten, mit der vortheilhaftesten Geschwindigkeit und in der bequemsten Stellung seine Kraft zu verwenden. Die Erfahrung lehrt nun, daß der Mensch in der Regel am meisten leisten kann, wenn er täglich etwa 8 Stunden lang arbeitet, und mit einer Geschwindigkeit von $2^1/_2$ — 3′.

Nach Gerstner kann die Last L, die ein Mensch oder ein Thier tragen mag, wenn die mittlere Kraft k und die mittlere oder normale Geschwindigkeit g bei einer achtstündigen Arbeit gegeben sind, unter andern Bedingungen durch folgende Formel gefunden werden:

$$L = k \times \left(2 - \frac{v}{g}\right) \times \left(2 - \frac{z}{8}\right)$$

wo v die verlangte Geschwindigkeit und z die tägliche Arbeitszeit in Stunden bezeichnet.

Beisp. Welche Last kann ein Mann heben, wenn er mit 4′ Geschwindigkeit und während 6 Stunden arbeiten soll, und derselbe bei achtstündiger Arbeit 25 Pf. mit 3′ Geschwindigkeit heben kann?

Hier ist $g = 3$: $k = 25$. $v = 4$ und $z = 6$,

$$\text{also } L = 25 \times \left(2 - \frac{4}{3}\right) \times \left(2 - \frac{6}{8}\right)$$

$$\text{oder } L = 25 \times 2/3 \times 5/4 = 20\,5/6.$$

Wäre $v = 2\frac{1}{2}$ und $z = 6$, so wäre

$$L = 25 \times \left(2 - \frac{2\frac{1}{2}}{3}\right) \times \left(2 - \frac{6}{8}\right) = 25 \times \frac{7}{6} \times \frac{5}{4} = 36\,11/24.$$

b) Von der Pferdekraft.

§. 458. Von Thieren wendet man hauptsächlich Pferde und Ochsen, selten nur Esel oder Hunde, als bewegende Kräfte an. Aus denselben Ursachen, wie die des Menschen, läßt sich nicht leicht die Leistung dieser Thiere genau bestimmen.

Erfahrungen in Bergwerken ergaben, daß eiu mittelstarkes Pferd 100 — 120 Pf. 4′ hoch in 1 Sek. heben mag, wenn es täglich 8 Stunden anhaltend arbeitet. Der Nutzeffekt ist also = 400 — 480 Pf. per Sek. oder 26,400 per Min. und die tägliche Leistung = 8 × 3600 × 440 = 12,672,000 Pf. 1′ hoch.

In England schätzt man den Effekt gewöhnlich auf 33,000 (engl.) Pfd. per Min. 1′ hoch oder zu 150 Pf. $3\frac{2}{3}$′ hoch per Sekunde. *)

*) So pflegt man nämlich die Pferdekraft bei Dampfmaschinen zu bestimmen; wirkliche Pferde leisten aber in der Regel weniger.

Ein Pferd, das eine Last trägt, kann 200 Pf. füglich und in 8 Stunden etwa 125,000′ weit tragen; der Nutzeffekt ist also = 25,000,000 oder doppelt so groß als bei Aufwärtsziehen.

Bei Frachtwagen zieht es an 15 Ztr. 100,000′ weit. Auf Eisenbahnen 12mal mehr.

§. 459. Auch das Pferd leistet aber am meisten, wenn es mit der seinem Körperbau angemessensten Geschwindigkeit arbeiten kann.

Je geschwinder es ziehen muß, einen desto größeren Theil seiner Kraft muß es auf die Fortbewegung des eigenen Körpers verwenden, und desto eher wird es erschöpft.

Ist die disponible Kraft oder die Zugkraft eines guten Pferdes, wenn es $2\frac{1}{2}$ engl. Meilen (13,200′) in einer Stunde zurücklegt, oder $3\frac{2}{3}$′ per Sek. = 150 Pf., so ist sie bei einer Geschwindigkeit von

5 Meilen oder $7\frac{1}{3}$′ per Sek. nur 100 Pf.
8 „ „ $11\frac{2}{3}$′ „ „ 50 „
10 „ „ $14\frac{2}{3}$′ „ „ 25 „

In England fahren die Eilwagen mit einer Geschwindigkeit von 9 — 10 Meilen per Stunde, und vier Pferde ziehen etwa 20 Ztr. (an Reisenden.) Da sie aber kaum 10 Meilen täglich zurücklegen können, während vier Fuhrpferde 60 — 80 Ztr. 20 Meilen weit fahren — so ist der Effekt in lezterm Falle also 6 — 8mal größer, und darum der Transport bei jener Schnelligkeit 8mal theurer. *)

§. 460. Aus dem Gesagten folgt, daß, macht man bei Maschinen von Pferden Gebrauch, diese wo möglich mit einer Geschwindigkeit von etwa 3 — $3\frac{1}{2}$′ per Sek. ziehen sollen, weil man dann nur in einem Tage den größten Nutzeffekt erhält.

---

*) Macht ein engl. Eilwagen 10 M. per Stunde, so kann man jedoch in 24 Stunden bei guteingerichteten Relais wenigstens 200 M. zurücklegen. Dazu brauchte man bei Wagen, die $2\frac{1}{2}$ M. per Stunde machen, auch wenn ähnliche Relais vorhanden wären, vier Tage. Man gewinnt also nicht nur sehr an Zeit, sondern erspart drei Tage Unterhalt.

Ein Militärpferd (mit dem Reiter rc.) macht im Schritt etwa $4^1/_2$ — 5′ per Sek., im Trabe 10 — 12′ und im Galopp 20 — 25.′ *)

Ist der Nutzeffekt eines guten Pferdes, das acht Stunden täglich arbeitet, per Sekunde = $150 \times 3^2/_3$ = 550 Pf. 1′ hoch; und der eines starken Mannes = 30×3 = 90 Pf. 1′ hoch; so ist jener etwa 6mal größer. **)

Häufig nimmt man beide geringer, jenen nur zu 400—450, diesen zu 70 — 75 Pf. 1′ hoch an.

Die Kraft eines starken Ochsen ist ungefähr die eines mittelstarken Pferdes; der Ochse zieht aber nur etwa halb so geschwind, und der Nutzeffekt wird daher zu 220 — 240 Pf. 1′ hoch angeschlagen.

c) Von den Gewichten.

§. 461. Auch die Menschen und Thiere wirken mitunter durch ihr Gewicht, und ebenso oft das Wasser und selbst die Luft. Unter Gewichten verstehen wir hier insbesondere aber feste und leblose Körper, insofern sie durch ihre Schwere mechanisch wirken.

Als Gewichte wirken die Körper durch ihr beständiges Bestreben zu fallen; und man kann dreierlei Wirkungen unterscheiden, die sie dadurch hervorbringen können.

1) Ist nämlich ein Körper durch einen andern gänzlich gehindert, zu fallen, so übt er gegen diesen einen anhaltenden Druck aus.

So wendet man häufig Massen als Gewichte an, um Körper fest anzudrücken, oder um Schnüre oder Seile anzuspannen u. s. w. So z. B. die Bleie bei den Bandstühlen.

---

*) Engl. Rennpferde machten schon 55 — 60′ per Sek., und einzelne Pferde zogen auf Eisenbahnen schon 1000 Ztr.

**) Ein starkes Pferd ist 6 — 8 Ztr. schwer, und also fast im Verhältniß seiner Stärke schwerer als der Mensch.

2) Wird ein schwerer Körper durch einen Widerstand bloß im Fallen verzögert, so muß auch dieser sich bewegen, und das Gewicht wirkt hiemit als anhaltende bewegende Kraft. Da Gewichte auf diese Weise nicht wohl einen großen Raum durchfallen können, so pflegt man sie als bewegende Kraft nur dann anzuwenden, wenn (wie z. B. bei Uhren) ein sehr langsames Niedersinken Statt finden mag, oder wenn abwechselnd das Gewicht wieder gehoben wird, so daß es als Gegengewicht wirkt. Beispiele solcher Gegengewichte sieht man bei p (Fig. 261) x (Fig. 253), r (Fig. 229) u. a. m. *)

3) Ein schwerer Körper kann endlich als bewegende Kraft wirken, wenn er erst einen andern trifft, nachdem er einen größern oder kleinern Raum ungehindert durchfallen ist. Durch den Fall erhält er nämlich eine gewisse Geschwindigkeit, und dadurch seine Masse ein mechanisches Moment. Er wirkt in diesem Falle durch Stoß. Auch auf diese Weise werden schwere Körper häufig als Kräfte (wie bei Rammen, Pochwerken u. a.) benuzt.

So oft indessen fallende Körper als bewegende Kraft wirken sollen, müssen sie durch andere Kräfte erst gehoben werden.

d) Von der Federkraft.

§. 462. Federn oder federnde Körper heißen solche, die in hohem Grade elastisch sind, oder die sich ansehnlich zusammendrücken oder auseinander ziehen lassen, ihre vorige Form aber stets wieder anzunehmen streben. (§. 29.) Wie Gewichte, so können Federn auf mehrfache Weise eine mechanische Wirkung

*) Das Gewicht eines Körpers kann übrigens auch als bewegende Kraft dienen, wenn man ihn pendelartig schwingen läßt. Ferner kann man das Gewicht eines auf einer schiefen Ebene herabrollenden Körpers (z. B. eines Wagens) zuweilen benutzen, um einen andern minderschweren aufwärts zu ziehen. (Fig. 200.)

hervorbringen. Eine Feder vermag einen anhaltenden Druck gegen einen Widerstand auszuüben, indem sie, so lange sie elastisch ist, gegen jeden Körper, der sie zusammendrückt, eine Rückwirkung ausübt. Sie kann ferner gleich einem Gegengewichte dienen, andere Körper in ihre vorige Lage zurückzuführen. Eine zusammengedrückte Feder kann ferner mehr oder weniger lang anhaltend als bewegende Kraft wirken, wenn sie nur langsam zu ihrer früheren Gestalt zurückkehren kann. Eine gespannte Feder vermag endlich, indem sie plötzlich ihre frühere Gestalt wieder annimmt, einen Stoß auszuüben. In der Folge wird von dem mannichfaltigen Gebrauche der Federn die Rede seyn.*)

Da eine Feder um so mehr ihre natürliche Lage oder Form ändert, je stärker der Druck ist, den sie erleidet, und da die Kraft, mit der sie bei jedem Grade der Zusammendrückung entgegenwirkt, jener, die sie eben zusammendrückt, gleich ist, so nimmt

1) die federnde Kraft ab, je mehr die Feder ihrer ursprünglichen Gestalt wieder näher kommt, und
2) können Federn deßhalb ein Mittel seyn, eine Kraft zu messen.

Eine Feder kann namentlich dienen, um Gewichte zu messen, oder zum Wägen. Ist z. B. a (Fig. 2) ein starker spiralförmig gewundener und elastischer Draht, so wird ein an b angehängtes Gewicht denselben um so mehr zusammendrücken, je größer es ist, und durch Versuche wird man daher finden können, bis zu welchem Punkte der Stab c bei jedem Gewichte herabgezogen wird. Eine solche Vorrichtung heißt eine Federwage. Diese Wagen sind oft sehr bequem; es ist indessen nicht zu übersehen, daß die Federkraft nicht ganz unveränderlich ist, und überhaupt, daß sie allmählig schwächer wird.

Ein federnder Bogen wie xy (Fig. 4) ist ferner geeignet, die Stärke eines Fadens zu erproben. Denn, wird der Faden bei a befestigt, und indem man diesen anzieht, zerrissen, so wird xy, bis der Faden reißt, um so mehr zusammengebogen, je stärker der Faden ist; und bringt man also neben xy etwa einen

*) Siehe vierzehnter Abschnitt.

dünnen Draht mit einem daran steckenden Korkstückchen d an, das zu gleicher Zeit durch x verschoben werden muß, so läßt sich daran wahrnehmen, bis wie weit x dem Bogen y genähert wurde.

§. 463. Ueberhaupt kann aber mit Hülfe einer Feder eine Kraft, und namentlich die Stärke jeder ziehenden gemessen werden. Ein zu diesem Behufe zweckmäßig eingerichtetes Instrument gab zuerst Regnier an, und ist unter dem Namen Dynamometer (oder Kraftmesser) bekannt.

Dieses Werkzeug besteht aus einem starken ovalen Ringe von Stahl xy (Fig. 3), an welchem gewöhnlich vier Griffe aa und bb befestigt sind. An den Backen, zwischen welchen die Stahlfeder bei aa eingeklemmt ist, sind zwei Schienen c und d befestigt, die sich übereinander verschieben, wenn aa sich nähern oder entfernen. Das Leztere hat Statt, wenn man die Griffe aa, das Erstere, wenn man die Griffe bb auseinander zieht. Eine Vorrichtung ist nun vorhanden, durch welche die Verrückung der Schienen cd eine Drehung der Rolle e und hiemit des Zeigers f bewirkt. Und da der Zeiger, je nachdem eine gewisse Kraft an aa oder bb zieht, um einen bestimmten Grad links oder rechts gerückt wird, so läßt sich nach Versuchen leicht an dem Bogen hi eine Gradeintheilung anbringen, die z. B. in Pfunden die Größe der Kraft anzeigt, welche auf die Griffe wirkt.

Mit Hülfe eines solchen Dynamometers kann man ziemlich genau finden, mit welcher Kraft z. B. die Arme irgend eines Individuums zu ziehen, oder seine Füße zu drücken vermögend sind, wie groß die absolute Zugkraft eines Pferdes rc. ist, und ebenso mit welcher Kraft ein Pferd einen Wagen zieht. Denn es ist klar, daß, wenn der eine Griff a an den Wagen, der andere an das Zugseil befestigt ist, das Pferd mit derselben Kraft beide Griffe auseinander zieht, mit der es, unmittelbar an den Wagen gespannt, diesen zöge.

Zweiter Abschnitt.

Einfluß des Schwerpunkts auf die Bewegung.

§. 464. Jeder feste Körper kann als ein Aggregat unzähliger schweren Theilchen angesehen werden, die durch unbiegsame Linien miteinander verbunden sind. Unterstüzt man irgend einen Punkt, so können die Körpertheilchen auf jeder Seite nur insoferne sinken, als sie auf der andern sich erheben, und auf jeder wird das ganze Bestreben aller Theilchen, zu fallen, so groß seyn, als die Summe ihrer Momente, d. h. der Produkte ihres Gewichts in die Entfernung vom Unterstützungspunkte. Unstreitig wird es nun immer irgend einen Unterstützungspunkt geben, bei welchem die Summe der Momente auf beiden Seiten gleich ist, so daß dann keine Seite sinken kann. Dieser Punkt heißt der Schwerpunkt, denn da sich die gegenseitigen Wirkungen der Schwere aller Theile um diesen Punkt ausgleichen, so verhält sich der Körper so, als wenn sein ganzes Gewicht in diesem Punkte vereinigt und alle andern Theile gewichtlos wären. (§. 58.) Ohne Zweifel muß diese Eigenschaft der festen Körper einen wesentlichen Einfluß auf die Erscheinungen ihrer Bewegung haben, und wir haben daher vorerst diesen näher zu betrachten.

§. 465. Bei Körpern, die regelmäßig gestaltet sind und aus völlig gleichartigen Theilen bestehen, ist die Lage des Schwerpunktes mehr oder weniger leicht zu bestimmen. Bei einer kreisrunden Scheibe muß derselbe im Centrum, bei einer parallelogrammförmigen im Durchschnittspunkte beider Diagonalen, bei einer Kugel im Centrum, bei gleichdicken Stangen und bei Cylindern und Prismen im Mittelpunkte der Axe liegen.

Bei einer dreiseitigen Tafel a b c (Fig. 5) findet er sich, wenn man eine Linie von a nach der Mitte von b c und eine von b nach der Mitte von a c führt. Denn denkt man sich die Tafel aus lauter mit b c parallelen Streifen bestehend, so muß der Schwerpunkt eines jeden Streifens und so auch der der ganzen Tafel in der Linie a d liegen. Ebenso wird er in der Linie b o liegen. o muß demnach, als der einzige Punkt, der in beiden Linien liegt, der Schwerpunkt seyn. $od = \frac{1}{3} ad$.

Der Schwerpunkt eines Kegels oder einer Pyramide liegt in der Axe und zwar um $\frac{1}{4}$ der Höhe von der Basis.

Bei einer Halbkugel liegt er um $\frac{3}{8}$ des Halbmessers vom Centrum ab.

Der Schwerpunkt eines Körpers, der eine irreguläre Gestalt hat oder aus Theilen von verschiedenem spezifischen Gewichte besteht, kann dadurch praktisch aufgefunden werden, daß man ihn an zwei verschiedenen Stellen aufhängt. Der Schwerpunkt wird im Durchscheidungspunkte beider Senkrechten liegen, die durch den Aufhängungspunkt gehen. (§. 59.)

Bei hohlen Körpern fällt der Schwerpunkt gewöhnlich nicht in die Masse des Körpers selbst.

§. 466. Ebenso haben mehrere fest miteinander verbundene Körper einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt. Sind (Fig. 6) die Kugeln a und b durch einen starren und geraden Draht verbunden, so findet sich der Schwerpunkt c in der Mitte von a b, wenn beide gleiches Gewicht haben, und überhaupt aber so, daß $a \times ac = b \times bc$. Sind beide Körper a und b durch einen gebogenen Draht von unbedeutendem Gewichte verbunden, so

findet sich auch hier der Schwerpunkt in der geraden Linie zwischen beiden Körpern und nicht in der Masse derselben.

Sind hingegen zwei Gewichte wie x und y (Fig. 7) an dem Wagebalken d f nur angehängt, so liegt der Schwerpunkt nicht in c, sondern zwischen d und f, denn x und y wirken in diesem Falle, als wenn sie an d und f befestigt wären.

§. 467. Ist der Schwerpunkt eines Körpers (oder der gemeinschaftliche eines Systems von Körpern) unterstüzt, so kann derselbe nicht fallen. Und der Schwerpunkt ist unterstüzt, wenn der Stützpunkt in der Senkrechten liegt, die durch den Schwerpunkt gezogen wird.

Ist g der Schwerpunkt von A (Fig. 8), so ist c d die Senkrechte, und A wird nicht fallen, weil diese Linie durch die Stützfläche x y geht. B hingegen fällt, weil x y ausserhalb dieser Linie liegt.

Ein Pendel oder überhaupt ein an einem Punkte aufgehängter Körper wird so lange um diesen schwingen, bis der Schwerpunkt senkrecht unter diesem Aufhängungspunkte steht, weil er nur dann unterstüzt ist. Auf diese Eigenschaft gründet sich das Senkblei oder Bleiloth.

Wird der Schwerpunkt eines Körpers verrückt, so daß die Senkrechte nicht mehr durch einen Stützpunkt geht, so muß auch dieser verändert werden, wenn der Körper nicht fallen soll, und umgekehrt.

Ein Körper steht um so fester, je mehr Kraft es braucht, den Schwerpunkt so zu verrücken, daß er nicht mehr unterstüzt ist. Man nennt den Grad seines Feststehens auch die Stabilität.

Es ist äusserst schwer, einen Kegel auf seine Spitze zu stellen, weil die mindeste Kraft den Schwerpunkt schon so verrückt, daß er nicht mehr unterstüzt ist.

Ebenso steht der Körper (Fig. 9) in der Stellung A weit fester als in der Stellung B, denn ist g dessen Schwerpunkt, und soll der Körper um h umgestürzt werden, so muß bei A der Schwerpunkt den Bogen g i, bei B hingegen den Bogen g n beschreiben, und ausserdem wird eine Kraft bei o in der lezten

Lage weit vortheilhafter wirken, als in der ersten. Bei A wirkt o auf g im Verhältniß der Arme oh : ph, bei B hingegen im Verhältniß von oh : qh. Bei B wirkt die Kraft an einem längern Arme (eines Winkelhebels) als die Last, und bei A an einem kürzern.

§. 468. Unzählige Erscheinungen erklären sich aus diesen Grundsätzen. Wir machen nur auf einige aufmerksam.

Beim Gehen wird der Stützpunkt unseres Körpers beständig verändert; es muß daher auch der Schwerpunkt abwechselnd verrückt werden. Soldaten, die gedrängt marschiren, müssen gleichzeitig mit demselben Fuße ausschreiten, damit sie nicht aneinander stoßen. Menschen mit dickem Bauche, oder solche, die eine Last vor sich tragen, müssen den Obertheil ihres Körpers rückwärts beugen, damit der Schwerpunkt durch die Füße unterstüzt bleibe. Umgekehrt müssen Leute, die eine Last auf dem Rücken tragen, sich vorwärts, und solche, die mit einem Arm nur eine Last tragen, sich seitwärts neigen. Leicht ist schon aus ihrer Stellung zu erkennen, ob sie schwer beladen sind oder nicht. Lasten, die man auf dem Kopfe trägt oder die auf beiden Seiten des Körpers vertheilt sind, tragen sich leichter, weil der Schwerpunkt in einer bequemen Lage bleibt.

Aus dem nothwendigen Verhältnisse des Schwerpunkts zum Unterstützungspunkte ergibt sich ferner, daß eine Menge Bewegungen nur unter gewissen Bedingungen möglich sind, daß man sich z. B. nicht bücken kann, ohne den Hintertheil des Leibes rückwärts zu schieben u. s. w.

Je größer die Stützfläche ist, desto fester ist der Stand unseres Körpers. Sehr schwer ist daher, auf einem Seile zu gehen, und fast unmöglich, darauf ruhig zu stehen. Der Seiltänzer hilft sich durch die Bewegung seines Körpers oder einer Balancirstange. Sowie er nämlich fühlt, daß sein Schwerpunkt auf die eine Seite des Seils sich hinneigt, so streckt er sofort einen Arm oder Fuß oder die Stange nach der andern aus, so daß der Schwerpunkt sich wieder auf diese wendet.

Aus demselben Grunde kann man einen Kreisel oder sogar einen Teller auf einer Nadelspitze eine Zeit lang in drehender Bewegung erhalten; denn wiewohl der Schwerpunkt nie vollkommen senkrecht über der Spitze stehen mag, die ihn unterstüzt, so kann er doch nicht umstürzen, weil er immer wieder auf die entgegengesezte Seite gebracht wird. Der Kreisel fällt erst dann, wenn die Bewegung zu langsam wird.

§. 469. Von den vielen Kunststücken, die sich bei einer richtigen Kenntniß des Schwerpunktes leicht begreifen lassen, führen wir nur einige an.

Ein kleiner Stab ab, wie Fig. 10 auf den Tisch c gelegt, wird sogleich fallen, weil der Schwerpunkt i nicht unterstüzt ist. Befestigt man in denselben aber eine Ahle wie ef, so wird er sich halten, wenn der gemeinschaftliche Schwerpunkt nun in den Punkt o, d. h. über den Tisch fällt.

Eine Gabel A (Fig. 11) läßt sich schwerlich auf einer Messerspitze a halten; leicht geschieht dies aber, wenn man zwei andere Gabeln B und C an jene steckt. Der gemeinschaftliche Schwerpunkt fällt nämlich jezt viel tiefer oder in die Hand selbst.

Ein unten mit einer Drahtspitze o versehenes Stäbchen m (Fig. 12) wird man nicht mit dieser aufstellen können, ohne daß es umfällt. Verbindet man es aber mittelst eines gekrümmten Drahtes mit der Bleikugel p, so wird das Stäbchen, ohne umzustürzen, hin- und herschwanken, und zulezt ruhig stehen. Durch die Bleikugel rückt nämlich der gemeinsame Schwerpunkt nach x unter den Punkt o, der ihn unterstüzt, und er wird demnach bloß wie ein Pendel hin- und herschwingen, bis er zur Ruhe kommt.

Befestigt man an der durch die Rolle a (Fig. 13) gehenden gabelförmigen Axe Gewichte p und q, so wird die Rolle auf einen Draht oder eine gespannte Schnur b gesezt und darauf hin- und hergezogen werden können, ohne daß sie herunter fällt, wenn auch die Gewichte p und q nicht völlig gleich sind. Der Schwerpunkt wird nämlich in x senkrecht unter b fallen und also

unterstüzt seyn. Dieses Prinzip wurde von Palmer benuzt, um Eisenbahnen mit einem Geleise herzustellen, die in einiger Entfernung über dem Boden stehen.

Jedermann kennt die kleinen Purzelmännchen von Kork oder Hollundermark, an deren Fuß ein Stückchen Blei angeleimt ist. Stellt man sie auf den Kopf, der etwas zugespizt ist, so schlagen sie sofort um und richten sich aufrecht, weil der Schwerpunkt in den Fuß fällt.

Eine künstlichere Einrichtung haben die sogenannten chinesischen Purzelmännchen. In dem Körper dieser Figuren sind Höhlungen vorhanden, die Quecksilber enthalten, und indem dieses abwechselnd in andere Theile läuft, verändert sich der Schwerpunkt, so daß der Körper umschlägt.

Der Schwerpunkt eines kegelförmigen Gefäßes t (Fig. 14) liegt, wenn es leer ist, bei a, d. h. bei $^2/_3$ von der Spitze i, und wenn es voll ist, bei b oder bei $^3/_4$ von i. Wird es daher zwischen a und b aufgehängt, so hängt es ruhig, so lange es leer ist, schlägt aber um, sowie es mit Wasser gefüllt wird, weil dann der Schwerpunkt nicht mehr unterstüzt ist.

§. 470. Aus dem Vorigen erhellt ferner, wie sich eine Last vertheilt, wenn sie auf mehreren Punkten unterstüzt oder getragen wird.

Ist ein Balken, der 100 Pfund wiegt, in der Mitte oder unter dem Schwerpunkte unterstüzt, so lastet auf der Unterlage das ganze Gewicht. Er gleicht also einer gewichtlosen Stange, auf deren Mitte 100 Pf. aufliegen, oder von deren Enden jedes 50 Pf. trägt, und lastet hiemit jedes Ende des Balkens auf der Schulter eines Mannes, so hat Jeder ein Gewicht von 50 Pf. zu tragen.

Ebenso hat jedes Rad eines zweirädrigen Wagens die Hälfte, jedes Rad eines vierrädrigen den vierten Theil der Last zu tragen, wenn diese auf dem Wagen ganz gleichmäßig vertheilt ist. Denn fällt der Schwerpunkt der Ladung auf die Mitte x (Fig. 15), so ist der Druck auf jeden Punkt o die Hälfte der Last und auf p und q die Hälfte dieser Hälfte.

Dasselbe gilt von Stühlen, Tischen, Bänken u. s. w.

Befindet sich der Schwerpunkt oder die Last nicht in der Mitte, so vertheilt sich das Gewicht auf die Stützpunkte im umgekehrten Verhältnisse der Entfernung. Wird die Last p (Fig. 16) bei a und b getragen, und ist a derselben 3mal näher als b, so lastet auf a $^{3}/_{4}$ und auf b $^{1}/_{4}$ von p. Ist also p = 100 Pfund, so hat a 75 Pf. und b 25 Pf. zu tragen.

Liegt ein Balken A (Fig. 17), dessen Gewicht = g ist und dessen Schwerpunkt in m liegt, bei o auf, so muß zur Herstellung des Gleichgewichts am Ende des kürzeren Theiles ein Gewicht p aufgelegt oder angehängt werden, so daß $p \times po = g \times om$. Ist g = 120 Pfund, om = 2′ und po = 6′, so muß p = 40 Pf. seyn, denn $2 \times 120 = 6 \times 40$, und wenn am längern Ende ein zweites Gewicht q = 60 Pf. aufliegt, und oq = 10′, so muß p noch um 100 Pf. vermehrt werden; denn $140 \times 6 = 2 \times 120 + 10 \times 60$.

Führt man eine Last auf einem Schubkarren, und liegt der Schwerpunkt derselben dem Rade 3mal näher als den Händen des Arbeiters, so hat dieser nur $^{1}/_{4}$ der Last zu tragen, die übrigen $^{3}/_{4}$ drücken auf die Axe des Rades. *)

§. 471. Auch ein schiefliegender Balken drückt, wenn er an beiden Enden getragen wird, auf jede Unterlage (senkrecht) mit der Hälfte seines Gewichtes. Anders verhält es sich, wenn ein Balken wie ab (Fig. 18) nur mit dem untern Ende a aufliegt, mit dem obern b aber gegen eine senkrechte Wand oc sich anlehnt. In diesem Falle drückt der Balken mit seinem ganzen Gewichte senkrecht gegen kc, übt ausserdem aber noch einen Seitendruck 1) gegen die senkrechte Wand oc, und 2) ein diesem Drucke gleiches Bestreben, horizontal gegen k zu entweichen, aus, so daß der Balken auch gehindert werden muß, sich in dieser Richtung zu verschieben.

---

*) Ist die Entfernung des Schwerpunktes oder der Last P von einem Träger A = a, vom andern B = b, so ist die Last für A = $\frac{Pb}{a+b}$ und für B = $\frac{Pa}{a+b}$. So findet sich z. B. auch der Druck auf jeden Zapfen eines Rades ꝛc.

Der vertikale Druck ist immer derselbe und zwar dem Gewichte des ganzen Balkens gleich.

Der horizontale wird aber um so größer, je schiefer der Balken liegt. Der Gesammtdruck seitwärts (unten und oben) verhält sich zu dem Gewichte des Balkens, wie die Grundlinie ac zur Höhe bc, und der Druck an jedem Ende ist also halb so groß. Dasselbe hat Statt bei Leitern ꝛc., die man an eine Mauer anlehnt, bei Balken, die gegen einander gestellt sind, u. s. w.

Wiegt ein Balken 300 Pfund und ist $ac = bc$, so ist der senkrechte Druck bei $a = 300$ Pf., der horizontale gegen die Mauer $oc = 150$ Pf., und der sogenannte Sparrenschub oder der Druck in der Richtung nach k ebenfalls $= 150$ Pf. Wäre $ac = \frac{2}{5}\, bc$, so betrüge der Schub nur 60 Pf. Man sieht, wie ausnehmend groß dieses Bestreben, zu weichen, bei sehr flachen Dächern werden kann.

Anders verhält es sich, wenn der Schwerpunkt nicht in der Mitte liegt. Steigt Jemand auf eine gegen eine Mauer gelehnte Leiter, so verändert sich natürlich der horizontale Druck. Der gegen die Mauer wird immer größer, je höher er steigt, und es vermindert sich dagegen das Bestreben der Leiter, am Boden auszuglitschen ꝛc.

Wird ein Körper A (Fig. 19) in der Richtung ox gezogen (oder gestoßen), und geht die Richtung des Zuges nicht durch den Schwerpunkt g, so wird der Körper vorerst um g gedreht, bis gox eine gerade Linie bildet. Denn da das ganze Gewicht des Körpers in g gleichsam vereinigt ist, so braucht es beinahe keine Kraft, ihn bloß um g herumzudrehen, und da ein schiefer Zug denselben drehen kann, so wird der Körper so lange keinen Widerstand leisten, und also bloß sich drehen, bis der Zug senkrecht geworden ist.

Man sieht daraus auch, daß ein Rad sich am leichtesten umschwingen läßt, wenn der Schwerpunkt desselben in das Centrum der Axe fällt.

§. 472. Schließlich noch Einiges über die Stabilität.

Ein Körper steht um so fester, je mehr Widerstand er einer Kraft entgegensezt, die ihn umzustürzen sucht. Dieser Widerstand

und also die Stabilität wird um so größer seyn, je schwerer er ist, je tiefer der Schwerpunkt liegt, und je weiter die senkrechte Linie, die durch diesen Punkt geht, von der Kante entfernt ist, um die er umgestürzt werden soll.

Eine Kugel oder ein Rad hat sehr wenig Stabilität.

Der Körper Fig. 20 hat in der Stellung A weit mehr Stabilität als in der Stellung B, denn ist g der Schwerpunkt und x die Umsturzkante, so liegt bei A g höher, und h x ist größer als bei B.

Eine Mauer steht um so fester, aus je schwereren Steinen sie aufgeführt und je breiter sie ist. Die Höhe hat auf die Standfestigkeit keinen Einfluß, da bei größerer Höhe der Schwerpunkt zwar höher rückt, die ganze Mauer aber in demselben Verhältnisse schwerer wird. Eine Mauer wird schon fester stehen, wenn sie unten wenigstens dicker gemacht oder mit Strebepfeilern versehen wird.

Beladene Wagen rc. sind vor dem Umwerfen um so gesicherter, je größer der Abstand der Räder ist und je niedriger der Schwerpunkt zu liegen kommt; manchen Geräthschaften (Lampen z. B.) gibt man eine größere Stabilität, indem man den Fuß mit Blei ausgießt, weil der Schwerpunkt dann tiefer fällt.

Dritter Abschnitt.

Von den einfachen Maschinen oder den mechanischen Potenzen.

§. 473. Betrachten wir auch die zusammengeseztesten Maschinen, so finden wir, daß sie sämmtlich aus wenigen Arten einfacher Vorrichtungen bestehen, die aber auf mannichfaltige Weise untereinander verbunden sind. Diese Elemente aller Maschinen heißt man einfache Maschinen oder Potenzen, die einzelnen Verbindungen aber dieser mechanischen Elemente Organe. Durch eine geschickte Vereinigung solcher Organe wird die bewegende Kraft gezwungen, so zu wirken, wie wir es wünschen.

Soll z. B. die Kraft des Wassers Eisen hämmern, so lassen wir dasselbe ein Rad umtreiben, und dadurch eine Welle. Dreht diese sich nicht schnell genug um, so übertragen wir vermittelst eines Räderwerks ihre Bewegung auf eine zweite Welle. An diese endlich bringen wir Daumen an, die abwechselnd einen Hammer heben.

Soll die Kraft des Dampfes Zeuge weben, so verwandeln wir vorerst die hin- und hergehende Bewegung des Dampfkolbens mittelst eines Hebels und einer Kurbel in eine rotirende, pflanzen diese dann durch einen langen Wellbaum in den Werksaal fort und mittelst Seilrollen an die Webstühle. Die rotirende Bewegung, welche die Axe des Webstuhls erlangt, verwandeln wir darauf durch excentrische Scheiben und Hebel wieder in hin- und hergehende, die das Schifflein, die Lade und die

Schäfte in Bewegung setzen, und ertheilen dem Tuchbaume überdies durch Räderwerk eine ganz langsame Bewegung, damit er allmählig das gewebte Tuch fortziehe und aufwickele.

Wir reden zuerst von den mechanischen Elementen, auf die sich die verschiedenen Theile aller Maschinen zurückführen lassen. Dieser einfachen Vorrichtungen sind sechs: der Hebel, die Rolle, das Wellrad, die schiefe Ebene, die Schraube und der Keil. Einige sehen als siebente noch das Seil an.

1) Der Hebel.

§. 474. Unter einem Hebel versteht man eine unbiegsame Stange, die zwei Kräfte (wovon die eine Last heißt) in entgegengesezter Richtung um einen Punkt, den Stützpunkt, zu drehen suchen. Wir haben bereits gesehen (60), daß beide Kräfte am Hebel im Gleichgewichte sind, wenn die Momente gleich, d. h. wenn die Produkte der reinen Kräfte in ihre Entfernung vom Stützpunkte oder die Armlängen dieselben sind. *)

Der Hebel heißt ein mathematischer, wenn man die Stange selbst als gewichtlos betrachtet. Jeder Hebel ist indessen ein physischer, und auch sein eigenes Gewicht muß oft in Anschlag kommen. Es geschieht dies, wenn man seine Schwere als ein im Schwerpunkte befindliches Gewicht ansieht. (461)

Nach der Lage des Stützpunktes und der Kräfte unterscheidet man drei Arten von Hebeln:

Hebel der ersten Art heißen solche, wo der Stützpunkt x (Fig. 21) zwischen der Kraft k und der Last l sich findet, und diese Hebel können entweder gleicharmig oder ungleicharmig seyn.

Hebel der zweiten Art heißen die, wo, wie bei Fig. 22, die Last zwischen x und k angebracht ist.

---

*) Die Geschwindigkeiten, womit sich die Kräfte bewegen würden, verhalten sich nämlich wie die Armlängen.

Hebel der dritten Art sind endlich die, wo k zwischen x und l sich befindet, wie bei Fig. 23.

§. 475. Bei allen Hebeln gilt für das Gleichgewicht dasselbe Gesetz.

Ebenso gilt dasselbe, wenn der Hebel, wie bei Fig. 24, eine gebogene Stange ist, oder wenn beide Arme, wie bei Fig. 25, einen Winkel bilden.

Vorausgesezt wird hingegen, daß die Kräfte senkrecht gegen den Hebel wirken. Gewöhnlich hat nun dies bei geraden Hebeln Statt; oft aber nicht bei krummen oder bei Winkelhebeln.

Bei einem krummen Hebel (Fig. 24) ist die gerade Linie von k bis x die Länge des Hebelarms für die Kraft, und ebenso die gerade Linie lx die für die Last.

Wirken k und l (Fig. 25) schief gegen die Arme des Winkelhebels axb, so sind die Linien ox und px als die Längen der Hebelarme anzusehen. Bei dem Winkelhebel Fig. 26 haben die zwei gleichen Gewichte k und l gleiche Momente, obschon xb viel länger ist als xa, weil ax = px. Man sieht aber, daß die Momente sich ändern, sowie der Hebel eine andere Stellung annimmt.

Wirken drei oder mehrere Kräfte an einem Hebel, so ergibt sich das Gleichgewicht, wenn zu beiden Seiten die Summe der Momente die gleiche ist.

Drückten an dem Hebel ad (Fig. 69) die Gewichte A, B, C, D, so hätte das Gleichgewicht Statt, wenn $A \times ao = B \times bo + C \times co + D \times do$. Der Hebel ist in Ruhe, wenn o unterstüzt ist, und der Unterstützungspunkt hat das ganze Gewicht zu tragen. Und daraus erklärt sich wieder, warum jeder feste Körper einen Schwerpunkt haben muß. Ein solcher Körper ist nämlich immer als eine Masse schwerer Punkte zu betrachten, die durch unbiegsame Linien verbunden sind, und es muß hiemit einen Punkt geben, bei dessen Unterstützung der ganze Körper ruhen wird. (§. 464.)

2) Die Rolle.

§. 476. Rollen nennt man kreisrunde Scheiben, die am Umfange eine Rinne (Schnurlauf) haben, um welche eine Schnur oder ein Seil geschlagen wird.

Man unterscheidet zwei Arten Rollen, feste und unbewegliche.

Die feste Rolle (Fig. 27) ist nur um ihre Axe beweglich, und an beiden Seiten ziehen die Kräfte p und l. Offenbar wirken die Kräfte an dieser Rolle wie Gewichte an einem gleicharmigen Hebel erster Art. (470) p zieht an dem Arme ac und l an dem Arme bc, und da beide gleich lang sind, so muß das Gleichgewicht sich ergeben, wenn $p = l$.

Ist p etwas größer als l, so wird die Last gehoben. Bei der festen Rolle kann hiemit weder an Kraft noch an Geschwindigkeit gewonnen werden, vielmehr wird stets etwas Kraft verloren, da Reibung Statt hat und das Seil beständig gebogen werden muß, besonders wenn die Rolle einen kleinen Durchmesser hat.

Die Rolle gewährt aber, wie der Hebel, den Vortheil, daß die Richtung der Bewegung verändert wird. Ein Herabziehen der Kraft bringt ein Aufwärtsziehen der Last hervor.

Sie hat ferner den großen Vortheil vor Hebeln, daß eine anhaltende Wirkung erhalten wird, indem, wie die Rolle sich dreht, beständig ein anderer Durchmesser ab zum Hebel wird.

Da die Seile endlich in jeder Richtung angelegt werden können, so läßt sich der Zug auf beliebige Weise ändern. Ist z. B. qr das ziehende Seil, so wird eine horizontale Bewegung in eine vertikale verwandelt.

Fixe Rollen werden daher vielfach angewendet, und namentlich, um die Richtung der Bewegung zu verändern, und solche Rollen heißen deßhalb auch Leitrollen.

§. 477. Bei der beweglichen Rolle (Fig. 28) ist das eine Seilende bei o festgemacht, und am andern zieht die Kraft. Die Last l aber ist an der Axe der Rolle c angehängt. Hier

wirkt die Rolle wie ein Hebel zweiter Art. b ist der Drehungspunkt, k zieht an dem Arme ab = 2cb, und l an dem Arme cb, und also an einem nur halb so großen. Das Gleichgewicht hat demnach Statt, wenn k halb so groß ist als l.

Ist k etwas größer, so wird l gehoben, und man gewinnt die Hälfte an Kraft. Es muß aber auch, damit l um 1′ steige, k einen doppelt so großen Weg machen, indem beide Seile um 1′ verkürzt werden müssen.

Bewegliche Rollen dienen hiemit nicht, um die Richtung der Bewegung zu ändern, sondern um an Kraft zu gewinnen.

§. 478. Es verhält sich indessen die Kraft zur Last nur dann wie 1 : 2, wenn beide Seile parallel laufen. Laufen sie schief, so wird eine verhältnißmäßig größere Kraft erfordert, und die Kraft verhält sich dann überhaupt zur Last wie der Halbmesser der Rolle zur Sehne des Bogens, den das Seil umfaßt.

Bei der Rolle Fig. 29 verhält sich k : p = ca : ba. Je kleiner die Sehne ist, desto mehr Kraft wird hiemit nothwendig, und daraus folgt, daß es unmöglich wird, eine Rolle auf einem Seile zu halten, das eine vollkommen gerade Linie bilden soll. Denn in diesem Falle würde die Sehne unendlich klein, und um das geringste Gewicht zu halten, würde eine unendlich große Kraft erfordert.

Es ergibt sich aber daraus noch, daß es überhaupt unmöglich ist, eine Schnur oder ein Seil durch irgend eine Kraft so zu spannen, daß es eine vollkommen gerade Linie bildet, denn seine Schwere stellt im Schwerpunkt ein Gewicht dar, das, um in völlig gerader Linie getragen zu werden, eine unendlich große Kraft erheischte. Jedes gespannte Seil bildet daher eine Bogenlinie, die um so gebogener seyn muß, je länger und schwerer das Seil ist, und je geringer die spannende Kraft.

3) Das Wellrad.

§. 479. Ist eine Rolle oder Scheibe a (Fig. 30) mit einer kleinern d verbunden, so daß sich beide um eine gemeinschaftliche Axe drehen, so sind zwei daran gehängte Gewichte im Gleichgewicht, wenn sie sich umgekehrt verhalten, wie die Halbmesser der Rollen, oder wenn p $\times$ ac = a $\times$ bc.

Es wird hiemit auch eine Last q durch eine um so kleinere Kraft p bewegt werden können, je größer die Scheibe a gegen d ist.

Verbindet man auf ähnliche Weise statt zweier Rollen ein Rad mit einer Walze oder Welle, so hat dasselbe Statt, und die Vorrichtung heißt dann ein Wellrad.

Die statischen Momente sind gleich, wenn sich die Kraft am Rade zur Last an dem Wellbaume verhält, wie der Durchmesser der Welle zu dem des Rades. Ebenso kann man statt der Räder bloße Arme oder Speichen anbringen. Man erhält dann allerlei Arten von Winden, Haspeln 2c.

Man findet am leichtesten, in welchem Verhältnisse an Kraft gewonnen wird (die Reibung 2c. abgerechnet), wenn man untersucht, um wie viel schneller die Kraft sich bewegt als die Last. Macht die Kraft einen Weg von 8′, während die Last nur um 1′ gehoben wird, so würde eine Kraft von 50 Pfund eine Last von 240 Pf. heben können, wenn keine Nebenhindernisse zu überwinden wären.

Auch das Wellrad beruht hiemit, wie die Rolle, auf der Theorie des Hebels. Es kann als ein ungleicharmiger Hebel ohne Ende angesehen werden.

4) Die schiefe Fläche.

§. 480. Schon aus dem, was früher (76) über den Fall eines Körpers auf einer schiefen Fläche gesagt worden ist, ergibt sich, daß eine kleinere Kraft erfordert werden muß, um denselben längs einer solchen Fläche, als aber in senkrechter Richtung aufwärts zu bewegen. Daß eine solche Fläche ein Mittel ist, an

Kraft zu gewinnen, erhellt noch aus Folgendem. Ruht ein Körper p bei c auf der schiefen Fläche ac (Fig. 31), und wird abc unter demselben durchgeschoben bis in die Lage dce, so wird p um dc = ab gehoben. Wirkt die Kraft, die abc verschiebt, in der Richtung bc, so macht sie einen Weg = ce = bc, während die Last p um dc = ab steigt; die Kraft muß daher um so viel kleiner seyn können, als ab kleiner als bc ist.

Und aus derselben Ursache wird die erforderliche Kraft, wirkt sie in der Richtung ac, sich zur Last verhalten müssen, wie ab : ac.

Es ergibt sich demnach das Gesetz, daß, wenn eine Last mittelst einer schiefen Fläche gehoben wird, die Kraft sich verhält zur Last:

1) wie die Höhe ab zur Basis bc, wenn die Kraft parallel mit dieser wirkt, und

2) wie die Höhe ab zur Länge ac, wenn die Kraft parallel mit lezterer wirkt.

Befindet sich ein Körper auf einer schiefen Fläche, so wird ein Theil seines Gewichtes von dieser getragen, und die Schwerkraft, mit der er zu fallen strebt, ist also vermindert. Man nennt diese verminderte Schwere auch die **relative**. Nennen wir

g das absolute Gewicht eines Körpers,
p sein relatives Gewicht,
h die Höhe und l die Länge der Fläche,

$$\text{so ist } p = \frac{g\,h}{l}.$$

Steht ein Wagen, der 60 Ztr. wiegt, auf einem geneigten Wege, der auf 20′ um 1′ steigt, so ist seine relative Schwere = 3 Ztr. 57 werden von der Straße getragen.

5) Die Schraube.

§. 481. Wird eine schiefliegende Leiste mit unveränderter Neigung um eine cylindrische Stange gewickelt, so erhält

diese einen spiralförmigen Vorsprung und bildet nun eine Schraube.

So viele Male der Vorsprung um den Cylinder herumgeht, so viele Windungen oder Gänge hat die Schraube. Der Abstand der Windungen von einander heißt ihre Höhe.

Daß auch die Schraube ein mechanisches Mittel seyn kann, eine Last mit einer geringeren Kraft zu bewegen, ist aus Folgendem ersichtlich:

Gesezt, auf dem Vorsprunge bei a Fig. 32 liege eine Last p auf, und die Schraube werde umgedreht, so muß offenbar p längs des geneigten Vorsprungs steigen, und zwar bei jeder ganzen Umdrehung der Schraube um die Höhe eines Ganges oder um a b. Da nun die Kraft, welche die Schraube dreht, parallel mit der Basis wirkt, so macht die Kraft, wenn sie unmittelbar an dem Umfange der Schraube dreht, einen um so größern Weg wie die Last p, als der Umfang der Schraube größer ist als die Höhe eines Ganges, und in diesem Verhältnisse muß also (von der Reibung abgesehen) an Kraft gewonnen werden.

Um die Schraube leichter anwenden zu können, pflegt man sie mit einer Einfassung zu umgeben, welche eine dem Vorsprung nachgebildete und ebenso gewundene Vertiefung enthält. Man nennt dann diese vertiefte Schraube die Schraubenmutter und die eigentliche Schraube die Schraubenspindel. Die Last wird durch diese Vorrichtung auf alle in der Mutter enthaltenen Gänge vertheilt; der Effekt bleibt aber derselbe.

6) Der Keil.

§. 482. Wie die Schraube, so gründet sich auch die Wirkung des Keils auf die Theorie der schiefen Fläche.

Unter einem Keil versteht man nämlich ein dreiseitiges Prisma a b c (Fig. 53), das zwischen zwei Körpern p und q, die Widerstand leisten, eingetrieben wird, damit sie sich von einander entfernen oder trennen. Es ist klar, daß, wenn der Keil um seine ganze Länge d c hindurchgetrieben wird, p und q um a b auseinander weichen, und daß hiemit die Kraft zum Widerstande sich verhalten kann, wie die Breite des Keiles oder a b zur Länge desselben oder d c.

Vierter Abschnitt.

Von den vornehmsten Organen der Maschinen.

§. 483. So wie man die einzelnen Theile eines lebenden Körpers **Organe** nennt, so können auch die verschiedenen Bestandtheile einer zusammengesezten Maschine als ihre einzelnen Organe betrachtet werden. Auch ihnen kommt eine den Zweck der ganzen Maschine förderde Verrichtung zu. Es wurde nun zwar angegeben, daß alle Theile sämmtlicher Maschinen sich auf sechserlei mechanische Elemente zurückführen lassen, oder daß alle als Hebel oder Radwellen oder Schrauben ꝛc. wirken. (§. 473.) Um die Verrichtung einer zusammengesezten Maschine zu beurtheilen, müssen wir indessen auch die Art und Weise kennen, wie die einzelnen Theile miteinander verbunden werden mögen, damit die Bewegung von dem einen auf den andern übertragen werde.

Unter dem Namen **mechanischer Organe** verstehen wir hier insbesondere nur diese Verbindungen zweier einfachen Maschinen oder mechanischer Elemente zu einer gemeinschaftlichen Wirkung. Diese Verbindung hat jedoch nicht immer eine **Uebertragung** oder Transmission der Bewegung zum Zweck, sondern öfters auch eine Aenderung und namentlich eine **Regulirung** der Bewegung. Man kann daher diese Organe in zwei Klassen theilen, und die einen fortleitende, die andern regulirende Organe nennen.

a) Organe, welche die Bewegung übertragen.

1) Verzahnte Räder.

§. 484. Berührt der Umfang einer sich um ihre Axe drehenden kreisrunden Scheibe oder Walze m (Fig. 34) den einer andern n, so wird diese sich ebenfalls und zwar in entgegengesezter Richtung um ihre Axe drehen müssen, ist die Reibung bei der Berührung größer, als der Widerstand von n, um sich zu drehen. Es wird hiemit die Bewegung von m auf n übertragen. Je stärker die Reibung ist, desto größer kann der Widerstand von n seyn, und die Reibung wird namentlich desto größer, je rauher die Berührungsflächen sind und je stärker sie aufeinander drücken.

Ist ferner die Reibung so stark, daß m sich durchaus nicht drehen kann, ohne n mitzunehmen, so muß jeder Punkt am Umfange beider Scheiben sich gleich schnell bewegen, die Zahl der Umgänge aber sich umgekehrt verhalten, wie ihre Umfänge oder ihre Durchmesser.

Ist der Durchmesser oder Radius von m dreimal so groß, als der von n, so macht n in derselben Zeit dreimal so viel Umläufe als m.

Ebenso wird (Fig. 35) eine horizontale Scheibe p eine auf ihrer Fläche senkrecht stehende o umtreiben können, oder eine vertikale x (Fig. 36) eine horizontale y, wenn diese gehörig (wie hier durch g) angedrückt wird. Auch wird o oder y schneller oder langsamer umlaufen, je nachdem ihre Entfernung vom Centrum c der bewegenden Scheibe größer oder kleiner ist.

Am häufigsten wird auf diese Weise durch die Reibung, die der Contakt erzeugt, die Bewegung einer Walze auf eine andere übertragen.

§. 485. Um die Bewegung eines Rades auf ein zweites zu übertragen, versieht man hingegen gewöhnlich beide mit Erhöhungen oder Zähnen (Fig. 37), welche wechselseitig ineinander greifen. Solche Räder nennt man verzahnte und das kleinere b gewöhnlich das Getriebe.

Stehen die Zähne so nahe, daß stets zwei Zähne gegenseitig ineinander greifen müssen, so ist klar, daß ein Rad unmöglich ohne das andere sich umdrehen kann, und daß also hier die Fortleitung der Bewegung nicht bloß durch die Reibung bedingt ist.

Es ist ferner klar, daß die Zähne, sowie die Zwischenräume bei ineinander greifenden Rädern genau gleich groß seyn müssen. Die Zahl der Zähne verhält sich daher wie die Durchmesser, und die Zahl der Umläufe also auch umgekehrt wie die der Zähne.

Hat a (Fig. 37) 55, b 16 Zähne, so geht b 55mal um, während a 16mal umgeht.

§. 486. Nach der Stellung der Zähne gibt es drei Arten verzahnte Räder: Stirn-, Kron- und Winkelräder.

Stehen die Zähne senkrecht gegen die Axe c (Fig. 37), so ist das Rad ein Stirn- oder Sternrad.

Stehen sie senkrecht auf die Fläche des Rades, wie bei n (Fig. 38), so heißt das Rad ein Kron- oder Kammrad.

Stehen sie endlich schief gegen die Axe (Fig. 39), so heißt das Rad ein Winkelrad oder ein konisches Rad.

Durch Sternräder (Fig. 37) wird die Bewegung der Axe c auf eine dieser parallele Axe o verpflanzt. Ein Kronrad theilt die Bewegung einer Axe p (38) mit, die senkrecht auf jener des bewegenden Rades m steht. Durch ein Winkelrad endlich kann die Bewegung auf eine schiefe Axe von beliebiger Neigung übertragen werden.

Wirken Kraft und Last am Umfange der Räder, so müssen beim Zustande des Gleichgewichtes beide einander gleich seyn, denn die Umfangsgeschwindigkeit ist bei beiden Rädern dieselbe, und die Kraft an dem kleineren Rade macht bloß mehr Umgänge, und sind die Wellen gleich dick, so verhalten sie sich wie die Durchmesser der Räder. Ist a (Fig. 37) dreimal breiter als b, so hält das Gewicht p einem dreimal kleinern q das Gleichgewicht, denn q bewegt sich dreimal schneller.

§. 487. Da die Zähne, die ineinander greifen, wie die Enden zweier Hebel aufeinander wirken, und die Fortleitung

der Bewegung nicht mittelst der Reibung erlangt wird, so hat man vielmehr diese so viel möglich zu vermindern. Es geschieht dies, indem man den Zähnen eine gehörig abgerundete Gestalt gibt. (§. 555.) Gewöhnlich ist jedoch unnöthig, den Zähnen genau die Gestalt zu ertheilen, welche der Theorie nach für jede Art von Rädern die passendste ist, indem sie sich allmählig von selbst zu derselben abschleifen. Zweckmäßig ist dann aber, daß die Zähnezahl des größeren Rades nicht genau ein Multiplum von der des kleinern ist, weil sonst immer die nämlichen Zähne miteinander in Berührung kommen, und daher eine Ausgleichung der dickern oder stärkern Zähne durch das Abschleifen nicht so vollkommen Statt hat.

Gesezt also, ein Getriebe habe 12 Zähne, und es solle etwa dreimal mehr Umgänge machen, als das Rad, durch welches es getrieben wird, so gibt man diesem nicht 36, sondern 35 oder 37 Zähne.

Wenn Winkelräder (wie x und y, Fig. 39) ineinander greifen, so müssen beide 2 Kegeln angehören, deren Spitzen c in demselben Punkte zusammenlaufen; denn nur dann werden sich die Zähne in ihrer ganzen Länge berühren.

Die Zähne des Kronrades läßt man gewöhnlich in einen Drilling greifen, d. h. in Stäbe, die am Umfange zweier Scheiben befestigt sind; so ist n (Fig. 38) das Kronrad, o der Drilling.

§. 488. Je mehr Zähne die Räder haben, desto sanfter ist in der Regel die Bewegung. Der Abstand zweier Zähne oder die Entfernung ihres Mittelpunktes von einander heißt die Theilung oder Schrift. Sie hängt von der Dicke der Zähne und diese von der nöthigen Stärke derselben ab. Gewöhnlich ist der Zwischenraum zwischen zwei Zähnen um ein Geringes breiter als die Zahndicke.

Beträgt die Theilung 4″ und die Zahnzahl 51, so muß der mittlere Umfang (oder Theilriß) 4 × 51 oder 204″ und also der Durchmesser $\frac{7}{22}$ × 204 oder beinahe 65″ betragen.

Da die Zahnzahl sich verhält wie der Umfang und hiemit wie der Radius, so kann, ist die Theilung dieselbe, leicht mit

Hülfe eines Dreiecks der Radius für ein Rad für jede beliebige Zahnzahl gefunden werden.

Ist ab (Fig. 40) der Radius eines Rades von 12 Zähnen und op in 12 Theile getheilt, so ist mn der Radius für eines von 25 Zähnen, wenn oq 25 Theile enthält, und ts der für 32 Zähne, wenn or 32 gleiche Theile mißt u. s. w.

Zuweilen verzahnt man die innere Seite des Radkranzes wie Fig. 43. In diesem Falle dreht sich das Getriebe b in derselben Richtung, wie das Rad a.

Häufig läßt man auch (wie Fig. 41) ein gezahntes Rad a in eine verzahnte Stange bc greifen, die dann, so weit die Verzahnung reicht, durch das Rad in gerader Richtung bewegt wird. Wird a bald nach der einen, bald nach der andern Seite gedreht, so erhält die Stange eine hin- und hergehende Bewegung.

2) Das Seilrad.

§. 489. Verbindet man zwei Rollen a und b durch eine über den Umfang beider gespannte endlose Schnur (Fig. 42), so wird, dreht man die eine derselben um, auch die andere umlaufen müssen, wofern die Schnur so fest an den Rollen anliegt, daß die Reibung größer ist, als der Widerstand der Rolle, sich zu drehen. Eine ähnliche Verbindung zweier Rollen heißt ein Seil- oder Schnurrad.

Mittelst des Schnurrades kann ebenfalls also die Bewegung einer Axe a auf eine andere b übertragen werden, und leicht ist zu sehen, daß die Umlaufszeiten sich wie die Durchmesser verhalten. Ist die Rolle b viermal schmäler als a, so macht jene in derselben Zeit viermal mehr Umgänge als diese.

Dieses Organ hat manche Vortheile vor gezahnten Rädern. Der Bau ist sehr einfach; die Bewegung ist sanft, und es lassen sich dadurch überaus schnelle Umdrehungen veranstalten; ferner kann man zwei viel entferntere Wellbäume mit einander verbinden, als mittelst verzahnter Räder; es ist endlich nicht durchaus nöthig, daß die Axen beider Rollen parallel liegen. Da die Wirkung jedoch auf der Reibung beruht, so kann man Schnurräder

selten anwenden, wo ein sehr großer Widerstand zu überwinden ist, oder wo ein sehr bestimmtes Geschwindigkeits-Verhältniß verlangt wird, denn leicht kann die Schnur oder der Riemen etwas zu schlaff werden, und dann, indem die Reibung nicht immer den Widerstand übertrifft, ein bloßes Rutschen derselben Statt haben.

3) Die Schrauben ohne Ende.

§. 490. Läßt man die Gänge einer Schraubenspindel x (Fig. 44) in die Zähne eines Stirnrades y eingreifen, so wird bei jeder Umdrehung der Schraube ein Zahn des Rades fortgeschoben, und das Rad also allmählig umgedreht, und da bei jeder Drehung die Schraube wieder einen neuen Zahn faßt, so kann sie fortwährend wirken, auch wenn sie nur ein paar Gänge hat. Eine solche Verbindung einer kurzen Schraube mit einem Zahnrade nennt man eine Schraube ohne Ende (eine Schnecke).

Soll die Schraube die Zähne in ihrer ganzen Breite berühren, so müssen diese schief eingeschnitten seyn.

Da mit jeder Wendung der Schraube nur ein Zahn fortgeschoben wird, so erfordert eine Umdrehung des Rades y so viele Umgänge der Schraube, als jenes Zähne hat, und man sieht daraus:

1) daß dieses Organ in hohem Grade geeignet ist, die Bewegung einer Welle auf eine andere mit ungleich geringerer Geschwindigkeit zu übertragen, und
2) daß mit Hülfe desselben sehr bedeutend an Kraft zu gewinnen seyn wird, denn so viel an Geschwindigkeit verloren wird, muß immer, insoferne von Nebenhindernissen abgesehen wird, an Kraft erspart werden.*)

Auch dieses Organ wird daher häufig angewendet.

4) Die Kurbel.

§. 491. Um eine Welle umzudrehen, wird an das eine Ende derselben a (Fig. 45) gewöhnlich ein gerader oder gekrümmter

*) Es ist übrigens zu bemerken, daß beide Axen rechte Winkel mit einander bilden.

Hebel b befestigt, an dessen Ende ein Zapfen (Warze) oder Griff angebracht ist, an dem die bewegende Kraft wirkt. Ein solcher Hebel heißt eine **Kurbel** oder zuweilen auch ein Krummzapfen.

Ist die Last ein an der Welle angehängtes Gewicht (und jede kann als ein solches angesehen werden), so zieht dieselbe und senkrecht an einem Hebelarme, dessen Länge dem Halbmesser der Welle gleich ist; und wirkt also die Kraft ebenfalls stets senkrecht gegen diesen Hebel, so könnte diese Kraft im Verhältnisse jenes Halbmessers der Welle zu der Länge der Kurbel kleiner seyn als die Last, oder wäre b fünfmal größer als der Halbmesser der Welle, so würde k fünfmal kleiner als l seyn können, sowie k in derselben Zeit einen fünfmal größeren Weg durchlaufen wird, als l.

Gewöhnlich wirkt aber die Kraft in sich ändernden Richtungen auf die Kurbel. Dreht z. B. ein Arm den Kurbelgriff Fig. 46 in der Richtung des Pfeiles um, so müßte der Arm, so wie die Kurbel in die Lage a, b, c, d kommt, nun in den verschiedenen Richtungen der Pfeile a′, b′, c′, d′ drücken, wenn er immer senkrecht darauf wirken sollte. Offenbar wird dies jedoch nicht wohl möglich seyn, und daher die Kraft eine oft mehr oder weniger schiefe Richtung haben, und hiemit einen geringeren Effekt hervorbringen. Das Moment der Kraft an der Kurbel wird also in gewissen Stellungen größer seyn, als in andern, und die Total-Leistung eine mittlere seyn.

§. 492. Oft wirkt sogar die Kraft fortwährend beinahe in derselben Richtung. Oft nämlich wird die Kurbel durch eine ihrer Länge nach hin- und hergehende Stange umgetrieben. (Fig. 47.) In diesem Falle wird die Kraft während einer jeden Umdrehung in zwei Lagen der Kurbel am meisten leisten, dann wird das Moment immer kleiner werden, bis es endlich in zwei Stellungen sogar $= 0$ ist.

Ist ca die Kurbel und x die in paralleler Lage hin- und herziehende Stange, so wird bei der Stellung ca das Moment $= x \times ca$ oder am größten seyn. Bei der Stellung cb wirkt

die Stange schief, und das Moment ist nur $= x \times cb'$. In der Stellung ce ist das Moment $= o$, dann wächst es wieder, bis es in der Lage cf von Neuem das Maximum erreicht, oder $= x \times cf = x \times ca$ ist. Ebenso ist es endlich in der Stellung cg wieder $= o$.

Man sieht, daß das Moment im Verhältniß der Linie cb' zum Radius ca abnimmt, d. h. im Verhältniß des Sinus des Winkels b c a, oder des Winkels, den die Stange mit der Kurbel macht.

Die beiden Stellungen, in denen das Moment $= o$ ist, heißt man die todten Punkte.

Der Totaleffekt wird durch diese Veränderung des Moments auf etwa $^2/_3$ von dem reducirt, den die Kraft der Ziehstange hätte, wenn sie immer senkrecht auf die Kurbel wirkt.

Es ist ferner klar, daß, sowie jene Zugstange mittelst der Kurbel ein Rad in Bewegung setzen kann, ebenso umgekehrt ein rotirendes Rad geeignet seyn muß, mittelst dieses Organes eine Stange hin- und herzuziehen.

§. 493. Die Verbindung einer Kurbel mit einer Welle und einer Stange ist daher ein mechanisches Mittel, eine geradlinigte Bewegung in eine rotirende, und umgekehrt eine rotirende in eine hin- und hergehende geradlinigte zu verwandeln.

Da das Moment der Kraft an der Kurbel so veränderlich ist, so wird oft die Hülfe von Organen nöthig, welche die Wirkung der Kraft vertheilen oder ausgleichen.

Zuweilen sezt man beide Enden einer Welle mit einer Kurbel in Bewegung. In diesem Falle müssen sie so gestellt werden, daß in demselben Augenblick, wo die eine den todten Punkt erreicht, die andere gerade in der vortheilhaftesten Stellung ist. Durch zwei Kurbeln kann dann bereits die Wirkung in hohem Grade egalisirt werden.

Oft wendet man statt eigentlicher Kurbeln Verkröpfungen an, d. h., man biegt die Welle, die sich dreht, wie Fig. 48. Wird an der Verkröpfung c eine Stange d eingelenkt, so muß

diese bei jeder Umdrehung von ab eine hin- und hergehende Bewegung machen.

5) Die Daumwelle.

§. 494. Oft versieht man den Umfang eines Rades oder einer Welle, wie w (Fig. 49), nur stellenweise mit Hervorragungen d. Dergleichen Zähne heißen dann **Daumen** und die Welle eine **Daumwelle**. Mit Hülfe einer solchen Welle kann man abwechselnd denselben Hebel in Bewegung setzen. Denn dreht sich die Welle in der Richtung des Pfeils, so wird während eines Umganges der Hebelarm a eben so viele Male niedergedrückt werden, als dieselbe Umfangslinie Daumen hat, und jedesmal wieder durch das Gegengewicht b gehoben werden, nachdem ein Daumen gewirkt hat.

Auf dieselbe Weise wird die Daumwelle w (Fig. 50) wiederholt die senkrechte Stange oder den Stampfer a heben können, wenn jeder Daumen bei der Umdrehung in der Richtung des Pfeiles eine an a befestigte **Hebelatte** c trifft und wegrücken muß.

Es läßt sich leicht finden, wie **hoch** der senkrechte und bewegliche Stampfer a jedesmal gehoben werden kann. Gesezt nämlich, der Däumling d komme mit der Hebelatte c erst dann in Berührung, wenn beide eine wagerechte Linie bilden, so wird c so lange fortgeschoben werden, bis die Welle sich um den Winkel x y z gedreht haben wird, denn ist der Daumen in z angekommen, so muß die Hebelatte c frei werden und nun wieder zurückfallen.

Soll aber der Stampfer wieder in seine vorige Lage zurücksinken können, so muß der folgende Däumling nicht eher die Hebelatte ergreifen, als bis der Fall vollkommen beendigt ist. Man sieht demnach, daß die Daumen in einer angemessenen Entfernung von einander stehen müssen.

Ferner ist klar, daß die Welle nur, während der Däumling den Stampfer hebt, einen **Widerstand** zu überwinden hat,

und dieser nicht vorhanden ist, während der Stampfer zurückfällt. Die Last ist demnach veränderlich, und wird also die Welle stets durch dieselbe Kraft gedreht, so würde sie bald schneller, bald langsamer sich bewegen, wenn die Wirkung nicht auf irgend eine Weise gleichförmig gemacht würde.

Es geschieht dies gewöhnlich, indem man dieselbe Daumwelle mehrere Stampfer zugleich in Bewegung setzen läßt, und zwar so, daß die einen gehoben werden, während die andern fallen, so daß die Daumen immer gleichmäßig beschäftigt sind.

§. 495. Sind die Daumen gerade (sogenannte Tangenten), so wird die Wirkung noch darum ungleichförmig, weil die Hebelatte fortwährend in einem andern Punkte von dem Daumen angegriffen wird, und das Moment der Last sich daher ändert.

Die Last wirkt nämlich, wie ein Gewicht p, das senkrecht an dem Ende des Daumlings angehängt wäre; in der horizontalen Stellung ist daher das Moment der Last $= p \times xy$ (Fig. 50), in der Lage zy aber $= p \times dy$, also kleiner, während hingegen das Moment der Kraft immer dasselbe ist, nämlich $= k \times oy$.

Diese Ungleichförmigkeit kann indessen dadurch gehoben werden, daß man gekrümmte Daumen oder Hebeköpfe anwendet, woferne die Krümmung eine bestimmte Form hat. Es kann alsdann bewirkt werden, daß der Hebekopf immer auf das Ende der Hebelatte wirkt, und daß das Moment der Last in jeder Stellung dasselbe bleibt.

Es ist dies aus Fig. 51 ersichtlich.

Beim tiefsten Stande greift der Hebekopf im Punkte o das Ende der Latte an, und das Moment der Last ist $= p \times oc$, beim höchsten Stande geschieht der Angriff am Ende des Kopfs oder im Punkte i, da dieser aber senkrecht über o liegt, so ist das Moment der Last dennoch $= p \times oc$.

Wir können uns hier nicht in die Regeln einlassen, nach welchen die richtige Gestalt der Hebeköpfe zu verzeichnen ist. (555.)

6) Excentrische Scheiben.

§. 496. Unter einem Excentrikum versteht man eine runde oder anders gestaltete Scheibe, die sich um eine Axe dreht, welche nicht im Centrum des Umfanges liegt, oder nicht von allen Punkten des Umfangs gleich weit entfernt ist. Indem man den Umfang einer solchen Scheibe mit einem Körper in Berührung bringt, kann man nicht nur eine Bewegung auf diesen übertragen, sondern dieselbe zugleich auf eine merkwürdige Art umändern.

Gesezt, eine kreisrunde Scheibe A (Fig. 52) drehe sich, aber nicht um das Centrum c, sondern um den Punkt n, so wird sie nach einer halben Wendung die Lage B annehmen, und lastet auf dem Umfange ein Körper C, so wird dieser, wie die Scheibe sich dreht, abwechselnd sinken und steigen, und zwar um die Excentrizität, d. h. um den Unterschied no — ni.

Dreht sich eine ovale Scheibe D (Fig. 53) um den Mittelpunkt c, so wird ein aufliegender Körper O während eines Umganges zweimal sinken und zweimal steigen, und zwar ebenfalls um den Unterschied co — ci. Häufig gibt man diesen Scheiben eine herzförmige Gestalt.

§. 497. Je nach der Gestalt, die man der Scheibe ertheilt, kann man die mannichfaltigsten Reihenfolgen von Bewegungen hervorbringen.

Gesezt z. B., es soll während einer Umdrehung der Scheibe der aufliegende Körper einmal und ganz gleichförmig um 6″ steigen und wieder sinken, so ziehe man um den Umdrehungspunkt derselben x (Fig. 54) einen Kreis, theile diesen in zwölf gleiche Theile, verlängere den Radius a um 1″, den Radius b um 2″, c um 3″ u. s. w., und verbinde die Endpunkte dieser verlängerten Radien zu einer herzförmigen Scheibe. Da jedes Zwölftel derselben sich in der gleichen Zeit umdreht, so wird nothwendig ein aufliegender Körper A in derselben Zeit immer um 1″ steigen oder sinken, und also während eines halben

Umganges gleichförmig um 6″ sich erheben und dann wieder zurückgehen.

Wird eine Stange a (Fig. 55) durch ein Gewicht p an die excentrische Scheibe O angedrückt, so wird sie während eines Umganges von O sich fünfmal entfernen und wieder nähern, und zwar bald mehr, bald weniger, und auch diese Bewegungen lassen sich durch eine angemessene Gestalt der Scheibe genau vorschreiben oder reguliren.

Beim Verzeichnen solcher Scheiben ist bloß zu beachten, daß die Winkelgeschwindigkeit immer dieselbe bleibt.

7) Seile, Wellbäume und Gestänge.

§. 498. Dieses sind die einfachsten Fortpflanzungsmittel der Bewegung, und werden daher häufig angewendet. Zieht eine Kraft an einem Ende einer Kette, so muß jedes Gelenk das folgende mit derselben Kraft nach sich ziehen, und so auch das lezte, und hiemit eine daran befestigte Last. Dieselbe Wirkung muß bei Seilen, Stricken oder Riemen Statt finden.

Die einen wie die anderen können jedoch wegen ihrer Biegsamkeit nur zur Fortpflanzung einer ziehenden Kraft dienen; ferner muß immer die Cohäsion der Theile in der ganzen Länge des Seiles oder der Kette stark genug seyn, um der ziehenden Kraft vollkommen zu widerstehen, und also größer als diese.

Stricke und Ketten können übrigens eben wegen ihrer Biegsamkeit auch dienen, um durch eine geradlinigte Bewegung eine rotirende hervorzubringen, oder umgekehrt, wenn man sie um eine Welle herumschlingt.

Man macht von mancherlei Arten von Ketten und Seilen (auch von flachen) Gebrauch. Sollen sie einer bedeutenden Kraft widerstehen, so muß zuerst sorgfältig ihre Stärke geprüft werden.

Sind die Ketten von ansehnlicher Länge, so kommt auch ihr eigenes Gewicht in Betracht, das beim Aufwärtsziehen die Last, beim Abwärtsziehen die Kraft vermehrt (505), und beim horizontalen Zuge die Kette veranlaßt, eine nach unten gekrümmte Bogenlinie (oder Kettenlinie) zu bilden. (474)

§. 499. Stangen haben wegen ihrer Festigkeit den Vorzug, daß nicht bloß die Bewegung einer ziehenden Kraft dadurch fortgepflanzt werden kann, sondern auch die einer stoßenden und drehenden.

Wird das eine Ende einer Stange hin- und herbewegt, so folgt auch das andere dieser Bewegung, und wird ein Wellbaum durch ein Rad oder eine Rolle umgedreht, so dreht sich der Baum in seiner ganzen Länge, und jedes daran festsitzende Rad muß sich ebenfalls umdrehen. Auf diese Weise kann eine drehende Bewegung auf eine sehr große Entfernung fortgepflanzt werden; es wird dann bloß nöthig, die Enden mehrerer Stangen so mit einander zu verbinden, daß alle sich gleichzeitig umdrehen müssen. Es gibt verschiedene Verfahren, diese Verbindung zu veranstalten, oder verschiedene Arten von Kuppelungen. Zu den gegebräuchlichsten gehören die Quadratkuppelung und die Klauenkuppelung.

Oft sind eigene Vorrichtungen angebracht, um die Verbindung nach Belieben aufheben oder auslösen und wieder herstellen zu können.

Zugleich ist jedoch zu beachten, daß die Kraft, welche die Welle umdreht, sie auch um ihre Axenlinie zu verdrehen sucht (§. 281), daß also die Welle die gehörige Stärke haben muß, um dieser Wirkung zu widerstehen, und daß sie um so stärker seyn muß, je länger sie ist. Um eine drehende Bewegung auf eine beträchtliche Entfernung fortzupflanzen, wendet man daher vorzugsweise eiserne Wellbäume an.

Gewisse Kuppelungen gestatten, zwei Wellbäume unter einem stumpfen Winkel mit einander zu verbinden. S. Fig. 272.

Oft werden auch viele Stangenstücke mit einander verbunden, um eine hin- und hergehende Bewegung in eine beträchtliche Entfernung zu übertragen. Hierher gehören namentlich die sogenannten Feldgestänge (Fig. 255), und die Stangen der Erdbohrer.

b) Regulirende Organe.

1) Das Schwungrad.

§. 500. Soll irgend ein ruhender Körper, und also auch ein Rad, das ruht, in Bewegung kommen, so muß eine bewegende Kraft darauf wirken, und dies, wenn auch kein besonderer Widerstand zu überwinden ist. Ebenso wird aber ein in Gang gebrachtes Rad so lange sich fortzubewegen streben, bis es durch irgend ein Hinderniß die erhaltene Bewegungskraft wieder verloren hat. Beides ist Folge des Trägheitsgesetzes. (45)

Ein Rad wird daher anhaltend umlaufen, wenn es auch nur von Zeit zu Zeit einen neuen Anstoß erhält, sofern es in der Zwischenzeit oder vor jedem neuen Stoße nicht alle Bewegungskraft verliert. *)

Sizt ein solches Rad an einer Welle, die eine besondere Last noch zu überwinden hat, so wird Aehnliches Statt finden und die Last fortwährend überwältigt werden können, obschon die Kraft nicht anhaltend wirkt.

Gesezt nämlich, eine Kraft = 4 wirke auf die Welle a (Fig. 56), aber nur während des halben Umgangs, so würde zwar p, so lange die Einwirkung der Kraft dauert, gehoben, dann aber stille stehen. Sizt hingegen an der Welle ein schweres Rad b, das mit umgetrieben werden muß, und dieses erhalte (oder absorbire) die Hälfte der einwirkenden Bewegungskraft, so wird a

*) Wirkt die Bewegungskraft fortdauernd auf das Rad, so wird seine Bewegung beschleunigt; und es häuft sich darin gewissermaßen immer mehr Kraft an, und die Gewalt, mit der es dann einen Körper stößt, wird immer größer. Ebenso nimmt, wie bei einer Schleuder, die man umschwingt, die Fliehkraft zu. Die Bewegung würde fortwährend wachsen, wenn nicht mit derselben auch gewöhnlich der Widerstand zunähme. Ein einziger Mensch sezt bekanntlich ohne Anstrengung eine horizontale Radschaukel in Gang, und treibt allmählig mit großer Geschwindigkeit 6 oder 8 darauf Sitzende um. Die Schaukel erlangt dabei aber eine große Gewalt, so daß sie sich nicht plötzlich anhalten läßt, und Jeden, den sie trifft, zu Boden schlägt.

zwar nur mit einer Kraft = 2 sich drehen, und hiemit nur $\frac{1}{2}$ p heben; wie die Bewegungskraft aber nach dem halben Umgang aufhört, wird das Rad b die Bewegung mit der Kraft 2 fortzusetzen streben, und demnach bewirken, daß die Welle noch einen zweiten halben Umgang mit der Last = $\frac{1}{2}$ p vollzieht. Es wird zwar jezt nur $\frac{1}{2}$ p im ganzen aber 2mal höher gehoben, und wiederholt sich die Wirkung der Kraft, so ist nun die Bewegung anhaltend.

Ein solches Rad b sezt uns hiemit in den Stand, auch mittelst einer ungleichförmig wirkenden Kraft eine gleichförmige Bewegung hervorzubringen; und derselbe Zweck wird dadurch erreicht werden können, wenn die Kraft gleichförmig, die Last aber veränderlich ist. Häufig werden daher dergleichen Räder angewendet, um Bewegungen zu regularisiren, und ein zu diesem Behufe angebrachtes Rad heißt ein Schwungrad.

§. 501. Aus dem Vorhergehenden ersieht man indessen:

1) Daß ein Schwungrad durchaus nicht Kraft erzeugt, sondern daß es bloß die Wirkung einer Kraft gleichförmiger vertheilt, indem es als schwingende Masse auf eine kurze Dauer einen Ueberschuß von Kraft aufnimmt, wenn augenblicklich die Welle zu viel Kraft erhält, oder die Last zu klein ist, und diesen Ueberschuß in einem folgenden Zeittheile an die Welle wieder abtritt, wenn dann die Kraft zu schwach oder die Last zu groß ist.

2) Daß sogar durch die Anwendung eines Schwungrades immer einige Kraft verloren werden muß, weil jedenfalls durch Hinzufügung einer solchen Masse die Nebenlasten oder Hindernisse der Bewegung etwas vermehrt werden; und daß also, so oft ohnehin die Bewegung gleichförmig wäre, ein Schwungrad nicht nur überflüssig, sondern wirklich nachtheilig seyn muß.

3) Daß ein Schwungrad um so mehr Wirkung haben muß, je schwerer es ist, je schneller es umschwingt, und je entfernter also auch die schweren Massentheile von der Axe

liegen. Man wendet daher selten kreisförmige dichte Scheiben an, sondern vielmehr Räder mit Speichen und einem möglichst schweren Kranze, und oft auch bloß mehrere Speichen, die am Ende mit schweren Kugeln oder linsenförmigen Platten versehen sind (wie Fig. 57). Man verfertigt ferner das Schwungrad aus einer spezif. schweren Masse und namentlich aus Metall. Ebenso sezt man wo möglichst die schwingende Masse an diejenige Welle, die am schnellsten sich dreht, weil dann eine um so kleinere denselben Effekt hat. *)

4) Man sieht endlich, daß jeder im Kreise mit einiger Schnelligkeit umschwingende Körper mehr oder weniger wie ein Schwungrad wirken muß, und ein solches daher oft ersetzen kann oder überflüssig macht. Ein Wasserrad, ein Schleifstein oder ein schnell umlaufender Cylinder bewegt sich z. B. sehr gleichförmig, wenn schon die bewegende Kraft oder der Widerstand in jedem Augenblicke nicht vollkommen gleich groß ist. Bei der Töpferscheibe (Fig. 27) dient das Rad n, um die Scheibe m in Bewegung zu setzen, und zugleich als Schwungrad.

Zuweilen bedient man sich ähnlicher Massen, die man in eine schwingende Bewegung sezt, auch nur, um darin die bewegende Kraft anzuhäufen. Wir werden später diese Anwendung, die namentlich bei Prägewerken vorkommt, erläutern. (620)

2) Das Sperrrad.

§. 502. Unter einem **Sperrrad** versteht man ein rundum mit schiefstehenden Zähnen sägeartig versehenes Rad A (Fig. 60), zwischen welches ein beweglicher Haken b (der **Sperrhaken** oder Sperrkegel) einfällt. Ein solches Rad wird sich in der Rich-

*) Man bringt übrigens, wo es thunlich ist, das Schwungrad möglichst nahe bei der wirkenden Kraft an, wenn diese ungleichförmig ist, und umgekehrt nahe bei der Last, wenn diese veränderlich ist. Bei Dampfmaschinen hat das Schwungrad oft ein Gewicht von 100 und mehr Zentnern. S. meine Dampfmaschinenlehre S. 304.

tung des Pfeiles leicht herumdrehen lassen, weil dann der Haken über die schiefe Fläche der Zähne weggleitet, nicht aber in der entgegengesezten, indem der sofort einfallende Haken sich gegen die steile Seite des nächsten Zahnes stemmt. Umgibt man daher irgend eine Welle mit einem Sperrrade, so kann dadurch bewirkt werden, daß dieselbe nur nach einer Richtung umgehen kann, Rückwärtsgehen aber unmöglich wird.

Ein Sperrrad kann ferner dienen, um zwei Maschinentheile so zu verbinden, daß der eine, nur wenn er nach einer Richtung gedreht wird, auch den andern mitumdreht. Offenbar werden nämlich, wenn A (Fig. 60) mit einem Sperrrade a versehen, an B aber der Sperrhaken b befestigt ist, beide Theile A und B umgehen, wenn A nicht in der Richtung des Pfeiles umgedreht wird, B hingegen nicht in Bewegung kommen, wenn A nach derselben Seite umgedreht wird. *)

§. 503. Oft endlich bedient man sich eines Sperrrades, um eine Welle langsam und ruckweise und nach einer Richtung bloß umzudrehen. Man läßt zu dem Ende ausser dem Sperrhaken b (Fig. 61) das hakenförmige Ende einer hin- und hergehenden Stoßstange cd in die Zähne des Sperrrades eingreifen. Geht die Stoßstange vorwärts, so stößt sie, indem ihre Klaue gegen einen Zahn sich stemmt, das Rad in der Richtung des Pfeiles um eine oder mehrere Zahnweiten fort, und der Sperrhaken sezt diesem Vorrücken kein Hinderniß entgegen. Wie die Stoßstange aber zurückgeht, hemmt der Sperrhaken das Rückwärtsgehen des Rades, und die Klaue der Stange nur gleitet über die schiefe Fläche der vorgeschobenen Zähne weg, um einen neuen zu ergreifen. Ein solches Rad heißt dann ein Stoßrad.

3) Das Pendel.

§. 504. Da ein in schwingende Bewegung geseztes Pendel bei gegebener Länge seine Schwingungen in einer bestimmten Zeit

*) Diese Einrichtung kommt namentlich bei Uhren vor. (664)

und alle in derselben Zeit verrichtet (81), so kann ein Pendel dazu dienen, gleichförmige Bewegungen von einer bestimmten Geschwindigkeit zu erlangen.

Ist ein Pendel etwa 37″ lang, so macht es einen einfachen Schwung in einer Sekunde, und bei $^{37}/_{4}$ oder $9^{1}/_{4}$″ Länge braucht es eine Sekunde zu einer doppelten Schwingung.

Verbindet man daher ein bei a (Fig. 58) aufgehängtes und mit einer starren Stange versehenes Sekunden-Pendel ab mit einer Gabel cde, so daß sie jene Stange umfaßt, so wird auch die Gabel in zwei Sekunden einmal hin- und hergezogen werden.

§. 505. Man wendet, wie bekannt, dieses Organ vornehmlich an, um den gleichförmigen Gang der Uhren zu erhalten, und die zu dem Ende veranstaltete Vorrichtung heißt eine Hemmung. Das Prinzip einer solchen Vorrichtung ergibt sich aus Folgendem (Fig. 59):

An dem obern Ende der Gabel e, die z. B. in zwei Sekunden hin- und hergezogen wird, ist ein ankerförmiger Hebel xy befestigt, dessen Haken in die Zähne eines Sperrrades z greifen. Bei jedem Hin- und Hergange der Gabel wird offenbar auch der Anker einmal hin- und hergeworfen, und hiemit auch das Sperrrad um einen Zahn fortgeschoben. Hat also dieses Rad 30 Zähne, so wird es genau in 60 Sekunden oder einer Minute 1mal umgehen, und so die Bewegung der Uhr regulirt werden können.

Ein solches Pendel würde nun freilich in wenig Augenblicken seine ohnehin geringe Bewegungskraft verlieren, da das Sperrrad, wegen der mancherlei Reibungen des übrigen Räderwerks besonders, einen merklichen Widerstand leistet; es wird daher eine Kraft, z. B. ein an seiner Welle hängendes Gewicht nöthig, welches die Umdrehung erleichtert, indem es allen Widerstand überwindet. Man sieht indessen, daß das Pendel nicht nur die Bewegung gleichförmig macht, sondern daß im Grunde das Pendel die Uhr in Bewegung sezt, und daß das Gewicht (oder die Feder) bloß alle Hindernisse der Bewegung wegräumt, so daß das Pendel ohne Aufhören fortschwingen kann. Eine Pendel-Uhr fängt daher erst zu gehen an, wenn das Pendel in

Gang gesezt wird, und das Gewicht dient bloß dazu, ihm fortwährend wieder den Verlust an Kraft zu ersetzen, den es bei der Bewegung des Sperrrads und Uhrwerkes einbüßt.

§. 506. Durch eine abweichende Vorrichtung wird hingegen der Gang der Taschenuhren regulirt. Hier vertritt ein eigentliches Schwungrad, an dessen Axe eine feine Spiralfeder befestigt ist, das Pendel, und dient bloß zur Regulirung der Bewegung des Sperr- oder Steigrades. Die Kraft der Uhrfeder strebt nämlich beständig, wie das ganze Räderwerk, so das Steigrad umzudrehen; da aber in dieses zwei an einer Spindel befindliche Lappen eingreifen, so müssen, sowie es um einen Zahn fortrücken soll, beide Lappen hin- und herspielen. Und dieses Spiel muß schon das Umgehen des Steigrades verzögern. Damit es indessen genau in einer bestimmten Zeit, wie z. B. in 15 oder 20 Sekunden, eine Umdrehung vollende, ist jene Spindel mit obigem Schwungrade und der darauf wirkenden Spiralfeder verbunden. Es muß demnach auch das Schwungrad hin- und hergeschwungen werden, und es kommt hiemit nur darauf an, die Wirkung dieses Rädchens und die Kraft der Spiralfeder in ein solches Verhältniß zu bringen, daß das Rädchen in der gehörigen Zeit einen Hin- und Herschwung verrichtet. Da übrigens auch die Länge der Spiralfeder Einfluß auf die Schwingungszeit hat, so kann man den Gang auf's genaueste reguliren, indem man die wirksame Feder entweder etwas verkürzt oder verlängert.

Da ein Pendel um so mehr bewegende Kraft hat, je schwerer und länger es ist, und je größer der Bogen, den es beschreibt, so wird auch nach diesen Umständen um so mehr Kraft nöthig, um ein ruhendes Pendel zu erheben. Ein schweres und langes Pendel kann daher dienen, um eine bewegende Kraft zu messen, und man hat dergleichen namentlich angewendet, um die Kraft einer abgeschlossenen Kugel zu messen. Man nennt eine solche Vorrichtung ein ballistisches Pendel. Schießt man eine Kugel gegen den Schwingungspunkt eines solchen Pendels, so wird dieses um einen desto größern Winkel gehoben, je schwerer die Kugel und

je größer ihre Geschwindigkeit ist, und aus dem Winkel läßt sich daher die Geschwindigkeit berechnen.

4) Das konische Pendel.

§. 507. Unter diesem Namen versteht man eine von dem berühmten Watt ausgedachte, sinnreiche Vorrichtung, durch welche der Gang einer Maschine wie von selbst regulirt wird, indem jede Beschleunigung sofort eine Verminderung der bewegenden Kraft, jede Verlangsamung eine Vermehrung derselben hervorbringt.

Befestigt man mittelst eines Charniers eine an einem Stabe hängende schwere Kugel a (Fig. 62) bei b an eine sich drehende Spindel c, so wird auch a sich um die Spindel umschwingen müssen, und je schneller sie umgetrieben wird, eine desto größere Schwungkraft dadurch erlangen. Sie wird sich demnach von der Spindel zu entfernen streben; da sie alsdann jedoch je mehr und mehr sich erheben muß, so wird sie nur so weit sich entfernen können, bis die Kraft der Schwere der Fliehkraft das Gleichgewicht hält. Sie wird hiemit um so mehr sich entfernen und um so höher steigen, je größer die Geschwindigkeit der Spindel ist, und steigen oder sinken so wie die Spindel c schneller oder langsamer umläuft.

§. 508. Dasselbe hat Statt, wenn wie Fig. 63 statt einer Kugel zwei Kugeln a und d auf diese Weise bei b an einer Spindel befestigt sind. Gesezt, die Kugeln nehmen die in der Figur bezeichnete Stellung an, wenn die Spindel c 30mal in einer Minute umläuft, so werden sie höher steigen und in größeren Kreisen herumschwingen, wenn die Spindel mehrere Umgänge in einer Minute macht, und umgekehrt sinken, so wie die Zahl der Umdrehungen sich vermindert. Verbindet man nun ferner durch zwei andere angelenkte Stäbe q und p jene Pendelstäbe mit einer die Spindel umfassenden Hülse o, so wird auch diese auf- oder abwärts gezogen werden, je nachdem die Kugeln steigen oder sich senken; und wirkt diese Hülse auf einen Hebel xy, so wird

auch lezterer jener Bewegung folgen, oder je nach der Geschwindigkeit der Spindel eine andere Stellung annehmen.

Vermittelst dieses Hebels ist es nun unschwer, die Wirkung gewisser Kräfte, und namentlich die Dampf- oder Wasserkraft von der Geschwindigkeit jener Spindel abhängig zu machen und demnach zu reguliren. Sezt man nämlich den andern Arm des Hebels y mit einer Klappe z. B. in Verbindung, die in dem Zuflußrohre des Dampfes angebracht ist, so wird man veranstalten können, daß diese Klappe bei einer beschleunigten Bewegung die Röhre sofort mehr schließt und dadurch die Dampfkraft vermindert; und umgekehrt, daß sie die Mündung erweitert, sowie die Bewegung langsamer wird. Und auf ähnliche Weise kann man ein solches regulirendes Pendel (oder den Watt'schen Regulator) mit der Schütze einer Wasserrinne in Verbindung bringen, und den Wasserzufluß nach Bedarf und also reguliren, daß die Geschwindigkeit des dadurch getriebenen Werkes fortdauernd ungefähr dieselbe bleiben muß.

5) Konische Wellen.

§. 509. Wird eine Welle durch einen Hebel umgetrieben, so muß sich die Last an der Welle zur Kraft am Hebel verhalten, wie die Länge des Hebels zum Halbmesser der Welle. Verändert sich die Kraft oder die Last, so wird das Gleichgewicht aufgehoben, wenn die Hebellänge und die Dicke der Welle dieselben bleiben. Wie eine konische Welle zur Erhaltung des Gleichgewichts dienen kann, weil eine solche eine Welle mit sich änderndem Durchmesser ist, mögen zwei Beispiele erläutern.

Wird eine Last P (Fig. 64) mittelst der Welle und der Kurbel a und b aus einer ansehnlichen Tiefe aufgewunden, so hat die Kraft nicht nur die Last P, sondern noch das Gewicht des Seiles zu überwinden; und sowie das Seil kürzer wird, vermindert sich daher die wahre Last, während die Kraft dieselbe bleibt. Bedient man sich nun aber einer konischen Welle, so daß der Halbmesser in dem Maaße zunimmt, als die Last kleiner wird, so werden die Momente der Kraft und Last sich dennoch stets gleich bleiben.

Gesezt z. B., P sey = 100 Pf. und das Seil in seiner ganzen Länge wäge 50 Pf., so ist die Last Anfangs = 150 Pf. Ist hiemit der Hebel b 15″ lang und der Halbmesser der Welle bei in = 3″, so wird eine Kraft = 30 Pf. jener Last das Gleichgewicht halten; denn das Moment der Kraft ist = 30 × 15 und das der Last = 3 × 150, also beide = 450.

Windet sich das Seil, während die Last ganz gehoben wird, bis op auf, so wird sich allmählig die Last auf 100 Pf. vermindern, denn am Ende ist das Gewicht des Seils als null zu betrachten. Das Moment bleibt jedoch dasselbe, wenn die Welle in umgekehrtem Verhältniß dicker wird, so daß op = $4\frac{1}{2}$″. Denn 100 × $4\frac{1}{2}$ ebenfalls = 450. Die Kraft wird hiemit bei dieser Vorrichtung immer den gleichen Widerstand zu überwinden haben, obschon die Last kleiner wird; diese wird bloß stufenweise schneller gehoben werden.

Auf dieselbe Weise können die Momente einer abnehmenden Kraft und einer sich gleich bleibenden Last egalisirt werden.

So wird z. B. die in der Trommel aufgewickelte Uhrfeder fortwährend schwächer, sowie sich die Trommel rückwärts dreht, weil jene dann sich wieder abwickelt und in ihre Lage zurückkehrt. (459) Würde daher die Trommel eine um eine cylindrische Welle geschlagene Kette aufwinden, so wirkte sie mit immer weniger Kraft. Wird die Kette hingegen über eine Schnecke, d. h. über einen allmählig dünner werdenden Cylinder aufgewunden, so wird das Moment der Last immer kleiner, so daß es dem abnehmenden der Kraft gleich bleibt. (Fig. 288.)

Von einer ähnlichen Schnecke hat man bei Packpressen, namentlich für Baumwolleballen, Gebrauch gemacht, weil der Widerstand mit der Zusammenpressung wächst.

6) Die krumme Fläche.

§. 510. In einigen Fällen kann auch eine gekrümmte Fläche ein Mittel seyn, bei veränderlichen Kräften eine Gleichheit ihrer Momente zu erhalten.

Ist ab (Fig. 66) eine Zugbrücke, die durch das Gewicht p, das an einem über die Rolle c gehenden Seil hängt, aufgezogen werden

soll, so würde die Brücke mit sehr beschleunigter Bewegung gehoben, wenn p in gerader Linie herunterfiele. Denn das Moment der Kraft nähme fortwährend zu und das der Last ab.

Wie nämlich die Brücke horizontal liegt, hat die ziehende Kraft p eine sehr schiefe Richtung, und ihr Moment ist $= p \times ob$; und das der Last (wenn s der Schwerpunkt ist) $= s \times sb$. Wie die Brücke aber in die Lage fb sich erhebt, wird der Zug weniger schief, schief hingegen die Richtung der Schwerkraft. Das Moment der Kraft ist nun $= p \times hb$ oder größer, und das der Last $= s \times nb$ oder kleiner.

Läßt man hingegen das Gewicht längs der gekrümmten Fläche cd herabgehen, und hat diese eine angemessene Krümmung, so wird die ziehende Kraft immer verhältnißmäßig schwächer, indem die immer schiefer werdende Fläche einen zunehmend größeren Theil des Gewichtes p trägt, oder weil die relative Schwere von p immer kleiner wird. (476)

Fünfter Abschnitt.

Von den Hindernissen der Bewegung.

§. 511. Dem Beharrungsgesetze zufolge sollte jeder einmal in Bewegung gesezte Körper sich stetig fortbewegen, und die Bewegung eines Körpers, auf den eine bewegende Kraft anhaltend einwirkt, immer mehr beschleunigt werden. (496) In der Wirklichkeit hat dies aber nicht Statt; jeder Körper, der durch einen Stoß in Bewegung gesezt wird, bewegt sich allmählig immer langsamer und hört endlich sich zu bewegen auf, und jeder, auf den eine stetige Kraft einwirkt, erlangt troz derselben zulezt eine gleichförmige Bewegung. Ferner sollte, der reinen Theorie nach, ist irgend eine Last zu heben, diese gehoben werden, sobald das Moment der Kraft auch um das Mindeste nur das der Last übersteigt. Gewöhnlich ist jedoch eine beträchtlich größere Kraft dazu erforderlich. Alle diese Erscheinungen rühren daher, daß sich bei allen Bewegungen noch unvermeidliche Hindernisse ergeben, deren Widerstand die Kraft noch ausser der eigentlichen Last zu überwinden hat, und die also eine Art Nebenlast bilden. (450) *)

*) Die Erfahrung widerspricht darum aber keineswegs der Theorie, denn die Theorie bringt ebenfalls die Hindernisse in Rechnung. Nur ist es zweckmäßig, die Wirkungen einer Kraft erst abgesondert — oder ohne Berücksichtigung dieser Hindernisse — zu betrachten, oder eine reine Theorie aufzustellen.

Diese zufälligen Hindernisse sind namentlich: die Reibung, der Widerstand des Mittels und die Steifheit der Seile.

1) Von der Reibung.

§. 512. Die meisten Körper haben eine mehr oder weniger rauhe Oberfläche, und auch die glattesten sind nicht vollkommen glatt. Auf der Oberfläche finden sich immer kleine Erhabenheiten und Vertiefungen. Berühren sich daher zwei Körper, so greifen stets die Erhabenheiten des einen gegenseitig in die Vertiefungen des andern ein, und sollen sie übereinander weggleiten, so ergibt sich aus jenem Ineinandergreifen ein gewisser Widerstand, zu dessen Ueberwindung einige Kraft erfordert wird. Ausserdem wirkt oft auch die Adhäsion (32) der Verschiebung entgegen.

Dieser von der Rauhigkeit (und der Adhäsion) herrührende Widerstand heißt die **Reibung** oder **Friktion**.

§. 513. Die Stärke der Reibung hängt, wie leicht zu erachten, von verschiedenen Umständen ab, von der Beschaffenheit der Körper und ihrer gegenseitigen Adhäsion, vornehmlich aber von dem Grade der Rauhigkeit ihrer Berührungsflächen und ihrem Druck gegeneinander. Denn je rauher sie sind, desto größere Erhabeiten sind zu überwinden, und je größer der Druck ist, desto tiefer greifen jene Erhabenheiten in die Vertiefungen ein.

In der Regel ist die Reibung größer zwischen weichen als zwischen harten Körpern, und größer zwischen gleichartigen als zwischen ungleichartigen, weil bei jenen wohl die Erhabenheiten und Vertiefungen besser ineinander passen. Bei Hölzern ist sie größer, wenn die Fasern beider Flächen in derselben Richtung liegen, als wenn sie sich durchkreuzen. Gewöhnlich wird ferner die Reibung größer, wenn zwei Körper eine geraume Zeit ruhig aufeinander drücken.

Bei harten Körpern hat die Größe der berührenden Fläche wenig oder keinen Einfluß auf die Reibung, denn liegt derselbe Körper mit einer kleinern Fläche auf, so ist hingegen der Druck auf dieselbe um so viel größer. Ebenso hat oft die Geschwindigkeit der Bewegung keinen merklichen Einfluß auf die Reibung. — Ungleich geringer ist dieselbe hingegen, wenn ein Körper über einen anderen nicht wegrutschen muß, sondern darüber fortrollen kann; denn in diesem Falle können sich die beiderseitigen Unebenheiten auseinander wälzen. So ist die Reibung einer rollenden Walze wohl 20 bis 30mal kleiner als die einer auf derselben Linie wegrutschenden. —

§. 514. In mancher Beziehung ist die Wirkung der Reibung sehr nützlich. Ohne sie würden die Körper allzuleicht beweglich seyn. Jeder Körper würde von einer Fläche herabgleiten, die nicht vollkommen wagrecht wäre, jeder auch auf einer solchen durch die geringste Kraft in Bewegung gebracht werden. Oft suchen wir daher die Reibung sogar zu verstärken, wie wenn wir Sand auf glattes Eis streuen, oder den Violinbogen mit Harz bestreichen ꝛc. Oft ist auch die Reibung ein Mittel, eine Bewegung fortzupflanzen. (480)

Häufiger indessen sucht man die Reibung als Hinderniß der Bewegung soviel möglich zu vermindern, indem man die sich berührenden Flächen glatt macht, oder sie mit Materien bestreicht, welche die kleinen Vertiefungen ausfüllen. Um die Reibung zwischen Metallen zu mindern, schmiert man sie mit Fett und namentlich mit Baumöl oder dem dünnflüssigen Theile der Oele, der Flaine. Hölzer werden zu diesem Ende mit Seife, Talg oder Graphit (Reisblei) eingeschmiert.

§. 515. Da die Reibung als hinzukommender Widerstand die Last vermehrt, so ist es bei den meisten mechanischen Vorrichtungen wichtig, das Verhältniß dieser Nebenlast zur eigentlichen Last, oder das der Reibung zum Gewichte des Körpers zu kennen. Man pflegt dieses Verhältniß den Reibungscoeffizienten zu nennen.

Beträgt das Gewicht oder der Druck eines Körpers, der in Berührung mit einem andern sich bewegen soll, 100 Pf. und ist eine Kraft von 20 Pf. erforderlich, bloß um den Widerstand der Reibung zu überwinden, so ist der Reibungscoeffizient $= \frac{20}{100}$ oder $^1/_5$. Ein anderer Körper gleicher Art, der nur 50 oder der 1000 Pf. wäge, würde unter gleichen Umständen eine Reibung von 10 oder aber von 200 Pf. erzeugen.

Die gewöhnlichste Methode, die Reibung auszumitteln, gründet sich darauf, daß ein auf einem völlig wagerechten Tische ab liegender Körper (Fig. 67), einmal in Bewegung gesezt, ohne alle weitere Kraft sich sollte fortziehen lassen, wenn keine Reibung vorhanden wäre, indem der Tisch das ganze Gewicht des Körpers trägt; und daß hiemit alle Kraft, die das Fortziehen dennoch nöthig macht, bloß zur Ueberwindung jenes Widerstandes dient, und diesen also messen muß.

Gesezt hiemit, ab sey eine Tafel von Eichenholz, c ein mit 40 Pf. beschwertes Brett von demselben Holze, und man brauche ein Gewicht $p = 15$ Pf., um das Brett fortzuziehen, so wird $^{15}/_{40}$ oder $^3/_8$ die Stärke der Reibung ausdrücken.

Wiederholt man dieselben Versuche bei stärkerer Belastung von c, so findet sich, daß das Reibungsverhältniß ungefähr dasselbe bleibt.

Ein Anderes ist es hingegen, wenn andere Holzarten angewendet werden, oder wenn die Fasern nicht die gleiche Richtung haben, sondern verschränkt übereinander liegen.

Bei Eichenholz auf Eichenholz war die Reibung zur Last wie 100 : 234.

Bei Eichenholz auf Tannenholz wie 100 : 150.

Bei Tannenholz auf Tannenholz wie 100 : 178.

Bei Ulmenholz auf Ulmen wie 100 : 218.

Wenn die Fasern des Holzes parallel laufen — wie 100 : 380, hingegen (bei Eichenholz auf Eichen), wenn sie verschränkt lagen und wenn die Körper erst in Bewegung kommen sollen. Während der Bewegung ist die Reibung weit geringer. Bei Eichen auf Eichen z. B. nur $^1/_{10}$, und gut geschmiert nur $^1/_{20}$.

Die Reibung verhält sich ferner am Anfange der Bewegung bei Holz auf Metall wie 100 : 500.

Bei Eisen auf Messing wie 100 : 400, wenn man breite Platten anwendet, und wie 100 : 600, wenn die Last nur auf runden Köpfen aufliegt, sobald sie gut abgeschliffen sind.

Werden die reibenden Flächen mit Talg geschmiert, so vermindert sich die Reibung von $1/6$ auf $1/10$.

Während der Bewegung und bei guter Einölung ist die Reibung zwischen Eisen und Kupfer oft nur $1/40$ oder $1/48$.

Bei wolligen Substanzen nimmt die Reibung bei größerem Druck verhältnißmäßig bedeutend ab. Bei kleinem Druck ist die Reibung oft größer als der Druck.

Je polirter die Flächen sind, desto geringer ist die Reibung. Bei neuen Maschinen ist sie daher größer als bei gebrauchten.

Wie die gleitende Reibung, so läßt sich auch die rollende durch ähnliche Versuche auf einer wagerechten Tafel ausmitteln.

§. 516. Die Reibung läßt sich einigermaßen auch vermittelst einer schiefen Fläche finden. Liegt nämlich ein Körper a auf einer solchen Fläche bc (Fig. 65), ohne herabzugleiten, so wird er bloß durch die Reibung daran verhindert, und so lange der Körper unverrückt bleibt, muß die Reibung größer seyn, als das Bestreben des Körpers, zu fallen. Dieses Bestreben (76) ist aber auf einer solchen Fläche im Verhältniß der Höhe bd zur Länge bc vermindert. Je schiefer daher die Fläche seyn darf, bevor a herabgleitet, desto größer muß die Reibung seyn, die zwischen a und bc Statt findet.

Die Reibung hat man in neuerer Zeit benutzt, um eine Kraft, und namentlich die, mit der sich ein Wellbaum umdreht, zu messen.

Man umgibt nämlich die Welle a (Fig. 68) mit zwei halbkreisförmig ausgeschnittenen Sätteln mn und op, die zwischen

den Balken i und e liegen, und befestigt sie dann mittelst der Schrauben c und d so, daß eine starke Reibung entsteht. Dreht sich die Welle in der Richtung des Pfeils, so wird sie auch die Sättel und Balken mit sich umdrehen, wofern sie Kraft genug hat, das Moment des Balkens zu überwinden, und die Reibung größer ist. Nun aber läßt sich durch ein Gewicht f das Moment des Balkens e nach Belieben vergrößern und so ein Punkt treffen, wo die Welle sich drehen wird, ohne den Balken herumzuführen, diesen jedoch stets in horizontaler Richtung erhalten mag. Und tritt diese Erscheinung ein, so muß das Moment der Last dem der Kraft gleich seyn.

§. 517. Die Reibung wird bei Maschinen auch öfters angewendet, um die Bewegung zu verzögern. Man nennt solche Vorrichtungen gewöhnlich Bremswerke. Die Bewegung eines Rades z. B. kann dadurch bedeutend vermindert werden, indem man eine Stange gegen die Welle andrückt, so daß eine beträchtliche Reibung entsteht.

Jeder kennt die verschiedenen Vorrichtungen, um durch Erzeugung einer starken Reibung Wagenräder zu spannen, so daß sie sich nicht umdrehen können. Einige andere Bremswerke zeigen die Fig. 290 — 93.

In Fig. 290 wird das Rad A dadurch gebremst, daß vermittelst der Hebel a, b, c zwei bogenförmig ausgeschnittene Hölzer n und m an das Rad mit Gewalt angedrückt werden.

In Fig. 291 ist b c d ein Bügel, der ebenfalls mit Hülfe des Gewichtes p und des Hebels nm dem Rade A genähert werden kann, wenn dieses gebremst werden soll.

Fig. 293 stellt eine Bremsvorrichtung dar, die bei sogenannten selbstwirkenden (schiefen) Eisenbahnen dienlich ist. (610) Es handelt sich darum, ein zu schnelles Umgehen der Trommel A zu verhindern. Zu dem Ende ist an der Axe a ein Mühlstein b

befestigt, der sich mit der Trommel dreht. Unter b liegt ein zweiter c, der unbeweglich ist. Wenn die Trommel nicht arbeitet, ruht b auf c, und nur wenn sie sich drehen soll, wird die Axe a durch die Hebel nm und pq mittelst der Winde x etwas gehoben; sowie jedoch die Geschwindigkeit zu groß zu werden droht, wird sie wieder gesenkt, so daß die beiden Steine b und c hinlängliche Friktion erzeugen, um die Bewegung von A zu hemmen.

§. 518. Eine einfache und sinnreiche Anwendung der Reibung findet endlich beim Spinnen Statt. Das Spinnen besteht darin, daß man 1) parallel auseinander gezogene Fasern übereinander dreht oder zwirnt, und 2) daß man den gebildeten Faden noch auf eine Spindel oder Spule aufwickelt.

Das Zwirnen wird bewirkt, indem man eine Spindel a (Fig. 147 A) mittelst eines Wirtels b (und eines Schnurrades) schnell umdreht und den zu bildenden Faden von der Spitze i mehr oder weniger parallel mit der Spindel ablaufen läßt. Der Faden muß sich dann eben so oft um seine Axe drehen.

Soll der Faden, nachdem eine gewisse Länge gebildet ist, sodann aufgewickelt werden, so kann dies geschehen, indem man denselben von i wegzieht, so daß er mehr oder weniger senkrecht (wie bei B) gegen die Spindel a gerichtet ist: denn nun wird eine Drehung der leztern keine Zwirnung, hingegen ein Aufwickeln auf die Spindel zur Folge haben. Auf diese Weise wird beim einfachen Wolle- und Baumwollespinnrade abwechselnd das Garn gesponnen und aufgewickelt. Auch bei den Mühlespinnstühlen verfährt man also. Durch Drähte verändert man wechselsweise die Richtung aller Fäden, so daß sie, während der Wagen herausgezogen wird, beinahe senkrecht gegen die Spindelspitzen laufen und dann bloß gezwirnt werden; beim Zurückgehen hingegen fast senkrecht gegen den Bauch der Spindel, so daß sie sich aufwickeln.

Man kann jedoch auch ein kontinuirliches Zwirnen und Aufwickeln bewirken. Zu dem Ende wird an die Spindel a (Fig. 147 C) eine Garnspule b gesteckt, und eine Art Bügel c, so daß der Faden zuerst senkrecht gegen die Spitze der Spindel durch o, nachher gegen den Bauch derselben (durch p) gerichtet ist. Es ist klar, daß nun der Faden zugleich gezwirnt werden muß und sich auf die Spule aufwickeln kann. Das lezte wird aber nicht geschehen, wenn die Spule b genau so schnell sich drehte, wie die Spindel; sie darf daher an dieser nicht völlig festsitzen. Ebensowenig darf aber die Spule unbeweglich bleiben, denn in diesem Falle würde der Bügel c den Faden bloß um die Spule herumwickeln und keine Zwirnung erfolgen. Damit also das Zwirnen und Aufspulen zugleich Statt habe, wird nöthig, daß Spindel und Spule zugleich sich drehen, aber mit nicht ganz gleicher Geschwindigkeit, und dies wird erreicht, wenn entweder die Spindel die daran lose sitzende Spule bloß mittelst der Reibung mit sich herumführt, denn dann ist die Spannung des Fadens im Stande, die Bewegung der Spule gerade um so viel zu verzögern, als zur allmähligen Aufwickelung nöthig ist; oder wenn der Faden die Spule mit herumnimmt, die Reibung aber sie zurückzuhalten strebt.

Gesezt nämlich, der Faden müsse auf den Zoll 20 Zwirnungen erhalten, so wird, während er um 1″ länger wird, die Spindel 20mal umlaufen, um die Spule aber um 1″ (d. h. um $\frac{1}{3}$ Umgang, wenn sie 3″ Umfang hat) zurückbleiben müssen. Nach diesem Prinzip geschieht das Zwirnen und Aufspulen beim Flachsspinnrade, den Drosselstühlen, den Filatorien u. a. m.

2) Widerstand des Mittels.

§. 519. Alle Körper, die in Bewegung gesezt werden mögen, sind von irgend einer Materie und namentlich entweder von Luft oder von Wasser umgeben, und sehr selten nur können

sie sich bewegen, ohne daß auch diese Materie, in der sie sich befinden, oder das **Mittel** mehr oder weniger verdrängt und hiemit bewegt werden muß. Auch dazu wird etwas Kraft erfordert, und das Mittel ist hiemit ebenfalls ein Hinderniß der Bewegung. (55)

Die Größe dieses Widerstandes hängt von verschiedenen Umständen ab. Er wird vornehmlich um so größer seyn, je dichter das Mittel ist, ein je größeres Quantum in derselben Zeit verdrängt werden muß und mit je größerer Geschwindigkeit es weichen soll. Der Widerstand des Wassers wird daher ungleich größer seyn, als der der Luft.

Wir betrachten zunächst den leztern, da das gewöhnliche Mittel die Luft ist.

§. 520. Sezt man ein **Pendel** in Schwung, so wird dasselbe allmählig kleinere Schwingungen machen und früher oder später von selbst zur Ruhe kommen. Die Ursache dieser Abnahme der Bewegung liegt hauptsächlich in dem Widerstande der Luft, die beständig von dem Pendel verdrängt werden muß.

Diese Verminderung ist zuerst, wenn die Schwingungsbogen am größten sind, am bedeutendsten; denn da die Schwingungen, wie groß sie sind, in der gleichen Zeit vollzogen werden, so wird die Luft immer langsamer bewegt, je kleiner die Bogen werden. Bei einem 10mal kleinern Bogen ist aber nicht nur die Geschwindigkeit 10mal kleiner, sondern es wird auch bei jedem Schwunge 10mal weniger Luft in Bewegung kommen; der Widerstand ist also 100mal kleiner, oder bei einem 10mal kleinern Schwunge entzieht die Luft dem Pendel 100mal weniger Kraft. Aehnliches findet Statt bei allen Bewegungen; der Widerstand der Luft nimmt bei sonst gleichen Umständen wie das Quadrat der Geschwindigkeit zu oder ab.

Aus dem Obigen ersieht man übrigens, warum die Schwingungen sich zuerst sehr bald verkleinern, zulezt aber sehr langsam

abnehmen, und das Pendel sehr lange noch ganz kleine Schwingungen machen wird.

Ferner ist der Widerstand von der Größe und Gestalt des Pendels oder überhaupt des sich bewegenden Körpers abhängig. Je größer der Querschnitt des Pendels ist, desto mehr Luft muß nämlich aus dem Wege geräumt werden, und desto größer ist hiemit bei sonst gleichen Verhältnissen der Widerstand. Ein schweres linsenförmiges Pendel mag daher nach einigen Stunden erst ganz zur Ruhe kommen, wenn es mit der scharfen Kante die Luft durchschneidet, während es mit einer breiten Seite dieselbe durchschneidend nach einigen Minuten schon zu schwingen aufhört.

§. 521. Endlich schwingt dasselbe um so länger, je schwerer es im Vergleich zum Querschnitte ist, den es der Luft darbietet, und hiemit auch je größer das spezif. Gewicht der Masse ist, denn der Widerstand wird verhältnißmäßig kleiner.

Ist das Pendel kugelförmig, so ist bei doppeltem Durchmesser der Querschnitt und also auch der Widerstand der Luft 4mal größer; bei gleicher Masse ist aber das Gewicht und hiemit die Kraft, womit sie schwingt, 8mal größer. Die Kraft der größeren Kugel erleidet also durch jenen Widerstand bei jedem Schwung eine verhältnißmäßig 2mal geringere Verminderung. Und dasselbe hat Statt, wenn die Kugel spezifisch schwerer ist. Ist eine bleierne Kugel 15mal schwerer als eine hölzerne von gleicher Größe, so erfahren beide denselben Widerstand; da die Schwungkraft der bleiernen aber 15mal größer ist, so wird dieser bei jedem Schwunge verhältnißmäßig weit weniger Kraft entzogen, und sie schwingt daher ungleich länger.

Auf dieselbe Weise hat die Beschaffenheit des Körpers Einfluß auf die Geschwindigkett seines Falls.

Ohne den Widerstand der Luft würden alle Körper gleich geschwind fallen.

Leicht ist zu begreifen, warum Staubtheile mit ausnehmender Langsamkeit fallen und durch die mindeste Bewegung der

Luft mit fortgeführt werden. Denn ist der Durchmesser eines Stäubchens 100mal kleiner als der einen kleinen Erbse, so ist der Querschnitt 10,000 und das Volum 1 Millionmal kleiner. Bei einer 1 Millionmal kleinern Schwere ist also der Widerstand der Luft nur 10,000mal kleiner — und hiemit verhältnißmäßig 100mal größer.

Im Wasser ist der Widerstand des Mittels ungleich größer — denn ausser daß jeder Körper in eine Flüssigkeit getaucht von seiner Schwere verliert, erheischt es ungleich mehr Kraft, um das Wasser, das ungleich dichter als die Luft ist, aus dem Wege zu räumen. Ein Stein fällt daher im Wasser sehr langsam und ein Pendel kommt darin nach wenigen Schwingungen schon zur Ruhe.

§. 522. Den Fall eines Körpers kann man demnach verzögern, wenn man ohne Vermehrung des Gewichts die Oberfläche vergrößert. So wirkt der Fallschirm. Der Querschnitt eines Menschen, der senkrecht fällt, beträgt etwa 1 □′, er fällt daher sehr schnell. Hält er sich aber an einem an sich leichten Fallschirm, der 10′ Durchmesser und also über 70 □′ Fläche hat, so ist der Widerstand der Luft in diesem Verhältniß größer, und der Fall demnach sehr verzögert.

Auch bei Maschinen sucht man zuweilen den Widerstand der Luft zu vergrößern, um eine verzögerte Bewegung zu erhalten. Man nennt dazu geeignete Vorrichtungen Windfänge. Versieht man nämlich eine Welle, die sich zu schnell dreht, mit breiten Lappen, die bei der Umdrehung der Luft eine große Fläche darbieten, so wird die Bewegung dadurch bedeutend aufgehalten und also verzögert. (Fig. 294 xx.)

Dem Widerstande der Luft ist endlich zuzuschreiben, daß ein fallender Körper sich während des Falles so dreht, daß der Schwerpunkt zu unterst zu liegen kommt. Wäre nämlich kein Widerstand vorhanden, so würde jeder Punkt gleich schnell fallen; leistet hingegen die Luft Widerstand, so kann der Punkt, in dem gleichsam alle Schwere vereinigt ist, d. h. der Schwerpunkt, denselben am besten überwinden, und dieser hat daher einen schnellern Fall als die übrigen.

§. 523. Zu den Hindernissen der Bewegungen gehört endlich die Steifigkeit der Seile, wenn solche über Rollen geschlagen sind oder überhaupt während des Zuges gebogen werden müssen. Die Steifigkeit ist bei Seilen gleicher Art um so größer, je größer das Gewicht oder die Kraft ist, wodurch sie gespannt werden. Dieser Widerstand, der aus der Biegung eines Seiles hervorgeht, ist ferner um so größer, je kleiner der Durchmesser der Rolle ist. Die Steifigkeit zweier Seile verhält sich endlich wie die Quadrate ihrer Dicken.

Zweiter Theil.

Angewandte Mechanik oder Maschinenlehre.

Erster Abschnitt.

Von den hebelartigen Werkzeugen.

§. 524. Der Hebel ist das einfachste aller mechanischen Werkzeuge, und das am häufigsten vorkommende.

Oft bedient man sich eines solchen, um aus dem Zustande des Gleichgewichtes die Größe eines unbekannten Gewichtes zu finden. Von diesen hebelartigen Vorrichtungen oder den Wagen wird in dem folgenden Abschnitte die Rede seyn.

Noch häufiger werden Hebel angewendet, um irgend eine Last zu bewegen oder einen Druck auszuüben. Von gleicharmigen Hebeln macht man Gebrauch, wenn die Kraft bloß fortgepflanzt und eine Bewegung in anderer Richtung hervorgebracht werden soll; von ungleicharmigen, wenn zugleich an Kraft oder an Geschwindigkeit gewonnen werden soll.

Gerade und zweiarmige Hebel, die man anwendet, um die Richtung der Bewegung zu verändern, heißen gewöhnlich Wagebalken, oder Balanciers, wenn sie sehr groß sind.

Hebel dieser Art kommen z. B. bei Ziehbrunnen vor, da man mit größerer Leichtigkeit abwärts als aufwärts zieht. Um den Kolben a (Fig. 70) wechselsweise hinaufzuziehen, verbindet man die Kolbenstange b mit dem Hebel cd, und zieht dann an dem andern Arme bei k. Ist ck ein Seil, so daß der

Hebel nicht zurückgestoßen werden kann, so bringt man an b ein Gegengewicht p an. *)

Oft dient ein Hebel überhaupt nur, um abwechselnd ein Gegengewicht wirksam zu machen.

Beim Holzsägen erfordert das Vorwärtsstoßen der Säge a (Fig. 71) ungleich mehr Kraft als das Zurückziehen derselben. Man verbindet sie daher mit einem Hebel cd, der bei d mit einem Gegengewicht p beschwert ist. Dieses kommt beim Vorwärtsstoßen dann der Kraft zu Hülfe, und wird hingegen beim Zurückziehen jedesmal wieder gehoben. Die Arbeit erheischt demnach eine gleichförmigere Anstrengung, und die Arbeit ist erleichtert, wiewohl man nicht wirklich an Kraft gewinnt. Auf ähnliche Weise werden Blasbälge oft durch ein solches Gegengewicht wieder aufgezogen. (Fig. 253.)

Zu den Wagebäumen gehören ferner die Schaukeln rc.

Große Wagebäume oder Balanciers kommen besonders bei Dampfmaschinen vor, um die Kraft der Kolbenstange auf eine Triebstange zu übertragen, welche eine Kurbel in Bewegung setzt.

§. 525. Da die Enden des Balanciers, wenn er hin- und herschwingt, Kreisbogen beschreiben, so wird eine daran befestigte Stange nicht in derselben Vertikallinie hin- und hergezogen, und daraus erwächst oft ein Uebelstand.

Man kann denselben dadurch zuweilen beseitigen, daß man an den Hebelenden Kreisbögen oder Krümmlinge, wie xy (Fig. 72) anbringt. Ist jeder Punkt von xy gleich weit von c entfernt und eine Kette bei x befestigt, so wird die Stange p in derselben Vertikallinie gehoben; und bringt man an der Stange ein Gegengewicht q an, so wird die Stange auch in derselben Linie herabgedrückt.

Soll eine Stange den Balancier hin- und herziehen, durchaus aber in derselben Vertikallinie steigen und sinken, so wird

*) S. auch Fig. 176. Ebenso hat bei Fig. 275 der Hebel op bloß den Zweck, die Richtung zu verändern.

dies dadurch möglich, daß man den Krümmling mittelst zwei Ketten mit der Zugstange verbindet (Fig. 73), und zwar, daß man die eine bei x und a und die andere bei y und b befestigt. Eine Kette wird den Krümmling ziehen, die Stange mag steigen oder sinken, und die Stange wird stets in derselben Entfernung vom Mittelpunkte des Balanciers bleiben, und hiemit in derselben Senkrechten sich erhalten können.

§. 526. Da bei dieser Vorrichtung indessen die Reibung sehr groß ist, so wird gewöhnlich eine andere von dem berühmten Watt eingeführte vorgezogen.

Man befestigt nämlich (Fig. 74) die Zugstange q m nicht unmittelbar an das Ende des Balanciers b, sondern in die Mitte einer Stange b d, deren Ende d mit einer um c sich drehenden verbunden ist. Bei dieser Einrichtung kann offenbar b nicht den Bogen o p beschreiben, ohne daß d zugleich den Bogen r s durchläuft, und daraus folgt, daß, weil die Enden der Stange b d immer in gleicher Distanz das eine von a, das andere von c erhalten wird, auch die Mitte von q auf einer beinahe senkrechten Linie sich erhalten muß, wofern nämlich die Längen von c d und b a ein gehöriges Verhältniß haben. Man nennt diese Hülfsstange c d, welche die Triebstange q m beständig in die vertikale Stellung führt, einen Gegenlenker.

Gewöhnlich wendet man dieses Prinzip in einer andern Form an. Bei a und b (Fig. 75) werden nämlich zwei gleich lange Stäbe a c und b d angelenkt, und deren Enden durch einen dritten c d = a b verbunden. In jeder Lage werden demnach die Stäbe ein Parallelogramm a b d c bilden. Zugleich ist aber mit d der Gegenlenker o d verbunden, so daß während a einen Bogen um i, d einen Bogen um o beschreiben muß. Auch auf diese Weise wird dann bei jeder Schwingung des Balanciers das Parallelogramm verschoben, und bei gehörigen Verhältnissen so, daß eine bei d oder c befestigte Kolbenstange ziemlich genau in derselben Vertikallinie sich bewegen kann.

In die nähere Erläuterung dieses Prinzips und die etwas schwierige Theorie solcher Parallelogramme kann hier nicht eingetreten werden. Hier nur als Beispiel:

Ist der Kolbenhub = 48″ und die halbe Länge des Balanciers oder ai = 72″, so soll ab = 41″, ac = 28″ und der Gegenlenker od 25″ lang seyn.

§. 527. Soll die senkrechte Richtung der Zugkraft in eine horizontale verwandelt werden, so bedient man sich eines Winkelhebels.

Zieht man die Schnur a (Fig. 76) abwärts, so wird mit Hülfe des Winkelhebels m die Schnur b in horizontaler Richtung angezogen; und verbindet man diese mit einem zweiten Hebel n, so wird die Schnur c aufwärts gezogen.

Häufig kommen solche Winkelhebel bei Glockenzügen, Thürzügen u. a. vor.

Ebenso wirken die gemeinen (oder hebenden) Druckfallen (an Thürschlössern) mittelst eines Winkelhebels.

Starke Winkelhebel wendet man beim Drahtziehen an, und dann oft ungleicharmige, um zugleich an Kraft oder an Geschwindigkeit zu gewinnen. (Fig. 252, on.)

Federn (Prellstangen) oder Gegengewichte sind dann oft angebracht, um den Hebel nach jedem Zuge wieder zurückzuziehen. (x Fig. 252.)

Vielfach werden Winkelhebel in künstlichen Schlossen (bei Kassenschlossen) angewendet.

Wird mit Hülfe des Schlüssels s die Stange xy verschoben (Fig. 77), so wird mittelst der Winkelhebel n, o, p nicht bloß der Riegel a, sondern es werden auch die Riegel b, c und d zurückgezogen. So werden an Einem Schlosse oft acht und mehrere Riegel zugleich gezogen. Die Federn i bringen sie wieder in ihre vorige Stellung zurück. Das sogenannte Eingerichte des Schlosses bedingt die Möglichkeit, einen Schlüssel umzudrehen, indem die Einschnitte in dem Backen des Schlüssels zu dem Eingerichte passen müssen.

Ungleicharmige Hebel, um an Kraft zu gewinnen.

§. 528. Häufig bedient man sich einer einfachen Stange, um mit mäßiger Kraft eine bedeutende Last um ein Weniges zu heben, oder stark zusammenhängende Körper zu trennen. Eine zu diesem Behufe bestimmte und gestaltete Stange heißt ein Brecheisen. Ist das Brecheisen abc (Fig. 78) bei h unterstützt, und ab 20mal länger als bc, so wird ein Druck von 1 Ztr. auf a eine Last A von 20 Ztr. heben können; klar ist aber, daß die Kraft um 20″ herabdrücken muß, damit die Last um 1″ sich erhebe. *)

Ein solcher Hebel wird indessen sehr stark seyn müssen, damit er sich nicht selbst biege oder zerbreche; und ebenso die Unterlage, die ihn unterstützt und der Summe beider Kräfte widerstehen muß, nicht weichen dürfen.

Das Brecheisen braucht man ebenso, um Steine, angenagelte Bretter u. dgl. von einander zu sprengen.

Runde Hebel von Holz wendet man oft an, um Stiele oder Ketten, die um einen Gegenstand geschlagen sind, zusammen zu ziehen. Wird eine Kette um 2″ genähert, während die Kraft am Ende des Hebels einen Weg von 60″ beschreibt, so wirkt die Kraft wie eine dreißigfache.

Von der Anwendung von Hebeln, um Schrauben, Wellbäume &c. zu drehen, wird sonst noch die Rede seyn.

---

*) Auch die größte Last könnte mit einer geringen Kraft bewegt werden, wenn Hebel von jeglicher Länge zu finden wären. Wollte man aber mit einer Kraft = 1 Ztr. eine Last von 1 Million Ztr. nur um 1″ heben, so müßte das Ende des längern Hebelarms einen Weg von einer Million Zoll beschreiben, dieser 1 Millionmal länger seyn als das kürzere, und überdies der Hebel, sowie der Stützpunkt einem Druck von so vielen Zentnern widerstehen können. Sollte also ein Mensch nach der Idee des Archimedes die Erde mittelst eines Hebels auch nur um 1‴ verrücken können, so müßte der Hebel viele Billionen Meilen lang seyn.

Lange Hebebäume braucht man, um Baumstücke aus dem Boden zu reißen u. a. m. Gekrümmte mit einem Gegengewichte zum Ziehen von Pumpbrunnen ꝛc.

§. 529. Zuweilen wendet man auch Hebel der zweiten Art an: oder solche, wo die Last zwischen dem Stützpunkte und dem Angriffspunkte der Kraft liegt, und namentlich als Druckhebel. *)

Ein solcher ist z. B. der Hebel ab (Fig. 79), der um a beweglich ist und an welchem ein Gewicht p hängt, wodurch auf die Klappe c ein verlangter Druck ausgeübt wird. Der Druck ist um so vielmal größer als p, als ab länger ist als ac. Der Druck kann daher nicht nur durch Abänderung des Gewichts, sondern auch durch Verschiebung desselben verändert und regulirt werden. **)

Oft bedient man sich einer solchen Wage, um ein oder mehrere Walzenpaare an einander zu drücken. Im leztern Falle ist oft nöthig, daß der Druck auf die verschiedenen Walzen in einem gegebenen Verhältnisse vertheilt werde. Dies kann auf folgende Weise geschehen (Fig. 80):

Es seyen a, b, c drei Walzen, und auf a soll der Druck 8, auf b 6 und auf c 4 Pf. betragen; der Gesammtdruck ist hiemit = 18 Pf.

Dieser wird erhalten, wenn p = 6 Pf. und tn 3mal so lang ist als on. Zieht nun die Zugstange oi an dem über den

---

*) Mit einem Hebel drückt man z. B. den Model beim Tapetendruck auf; das Pettschaft bei manchen Siegelpressen ꝛc.

**) Auf diese Weise beschwert man namentlich die sogen. Sicherheitsklappen bei Dampfkesseln. Hat eine solche Klappe 2″ Diam., so ist die Fläche = $^{11}/_{14} \times 4$ oder $3^1/_7$ □″; und soll sie per □″ mit 4 Pf. beschwert seyn, so erheischt sie einen Druck von $12^4/_7$ Pf. Ist p = 2 Pf. und ac = $2^1/_2$″, so muß ap : ac oder $2^1/_2$ sich verhalten wie $12^4/_7 : 2$. Es ist also

$$ap = \frac{2^1/_2 \times 12^4/_7}{2} = 15^5/_7{''}.$$

Zapfen der Walzen a und b liegenden Sattel ad so, daß ai:id = 10:8, so vertheilt sich (§. 470) vorerst der Druck so, daß der Sattel auf a mit 8 Pf. und bei d mit 10 Pf. drückt. Und ist der zweite Sattel bc so gestellt, daß bd:dc = 4:6, so drücken von jenen 10 Pf. 6 Pf. auf b und 4 Pf. auf c.

§. 530. Bei den Hebeln der dritten Art wirkt die Kraft zwischen dem Drehpunkte und der Last; jene bewegt sich also langsamer als diese, und solche Hebel gebraucht man daher namentlich, wenn an Geschwindigkeit gewonnen werden oder die Last einen größern Weg zurücklegen soll, als die Kraft machen kann.

So sind oft die Pedale an Clavieren, die Treten an Webstühlen, Drehstühlen, Spinnrädern u. a. Hebel der dritten Art. Eine kleine Bewegung des Fußes k (Fig. 81) kann so eine genügende Bewegung der Stange lm hervorbringen, wenn der Widerstand dabei nicht zu groß ist. In frühern Zeiten machte man von solchen Hebeln öfters bei Wurfmaschinen Gebrauch.

§. 531. Es wirken übrigens auch viele der gemeinsten Werkzeuge als Hebel.

Die gewöhnlichen Scheeren und Zangen bestehen aus zwei ungleicharmigen Hebeln, die um einen Punkt sich drehen. Am längern Arme wirkt die Kraft der Hand, und der Arm wird um so mehr verlängert, je mehr die Kraft gesteigert werden soll. Zum Durchschneiden von Blech, Draht ꝛc. wendet man daher Scheeren wie Fig. 82 an, wo der Mensch oder eine Elementarkraft an einem sehr langen Arme drücken kann. (Fig. 262.) *)

Brechen (für Flachs), Zuckerscheeren, wie Fig. 83, Citronenpresser oder Ruder u. a. m. sind Hebel zweiter Art. Die Last a (Fig. 83) befindet sich zwischen der Kraft c und dem Stützpunkte b. Während der Arm des Ruderers den Griff des Ruders vorwärts stößt, stüzt sich die Schaufel desselben gegen das Wasser (das augenblicklich wenig weicht) und das Schiff, an welchem die Mitte der

*) Hierher gehören auch die neuen Hebelmaschinen, um schnell die Nietlöcher in starken Eisenblechen auszuschlagen. (Polytechnisches Journal 32, 34 und 31, 90.)

Ruderstange befestigt ist, muß also (als Last) vorwärts getrieben werden.

Schaufeln, Pincetten, Feuerklammern, Schaafscheeren u. a. m. wirken wie Hebel dritter Art. Bei der Pincette findet sich die Last, die ergriffen wird, am Ende der Hebelarme, und die Finger als Kraft drücken zwischen der Last und dem Drehpunkte.

Merkwürdige hebelartige Vorrichtungen sind die Knochen, welche durch die Contraktion der Muskeln bewegt werden. Auch sie wirken meistens als Hebel dritter Art, damit schnelle Bewegungen erfolgen können. Um so bewunderungswürdiger ist aber die Kraft der Muskeln, da sie meist in einer sehr schiefen Richtung ziehen. So wird der Knochen des Unterarms u aufwärts gezogen (Fig. 84), indem sich der Muskel m etwas verkürzt, während andere Muskeln den Oberarm o festhalten. Man sieht, wie schief und also wie unvortheilhaft die Muskelkraft wirkt, besonders wenn der Arm ausgestreckt ist, wie viel schwerer es daher seyn muß, in dieser Lage ein Gewicht mit der Hand zu halten, und welche Anstrengung es vollends erfordert, eine Flinte etwa in wagerechter Lage noch auf diese Weise zu halten.

Umgekehrt ist begreiflich, wie Männer von gewöhnlicher Stärke sogar in gewissen Stellungen ausserordentlich große Lasten um Etwas zu erheben vermögend sind, wenn dann zu gleicher Zeit mehrere Muskeln und Knochen und in der vortheilhaftesten Richtung wirksam sind.

Bei jedem Hebel muß der Hebel selbst so wie die Unterlage oder der Stützpunkt den gehörigen Widerstand leisten. Bringt man einen harten Körper a (Fig. 83) zwischen eine Thüre bc und die Schwelle bd, so wird er leicht zerdrückt, wenn man bei c die Thüre um b dreht. Ist aber der Körper a zu hart, so wird entweder die Angel auseinander gezogen, oder die Thüre zerbrochen. Im ersten Falle wirkt dann die Thüre als Hebel erster Art, die Angel erscheint als Last und a als Stützpunkt.

Als Hebel dritter Art wirken ferner Federn und Bleistifte, wenn wir schreiben oder zeichnen; die Finger drücken auf die Feder zwischen dem Stützpunkte und der Spitze der Feder, die daher größere Züge macht. Ebenso wirken die Sensen, die

Papierscheeren, die Schaufeln, Fächer, die Lade am Webstuhle u. a. Einer Papierscheere gibt man einen kurzen Griff und lange Schneiden, weil der Schnitt wenig Kraft bedarf, und man dann eine bedeutende Länge auf einmal und in derselben Richtung durchschneiden kann. *) Die Sense (Fig. 85) wird um a bewegt. Ist der Griff b dem Ende a 3mal näher als das Messer c, so bewegt sich dieses 3mal schneller, und macht einen 3mal größern Weg als der Arm.

Bei einigen Ziehbrunnen, bei Schlagbäumen 2c. wendet man zweiarmige Hebel an. Beschwert man den kürzern Arm hinlänglich, so kann ein sehr langer Baum dadurch schnell gehoben und doch eben so leicht wieder herabgezogen werden.

§. 532. Nicht selten macht man auch von mehreren mit einander verbundenen oder zusammengesezten Hebeln Gebrauch.

Wird nämlich der Hebel A (Fig. 86) bei a abwärts gedrückt, so steigt der andere Arm b, und wirkt dieser auf einen zweiten Hebel B, so wird der Arm c aufwärts und der Arm d niederwärts bewegt. Ist der Arm a 5mal länger als b, und c 4mal länger als d, so wird das Ende d 20mal langsamer sich bewegen als das Ende a, und hiemit eine Kraft bei a die Wirkung einer 20mal größern bei d ausüben.

Auf dieselbe Weise lassen sich drei oder mehrere Hebel verbinden.

Zuweilen bezweckt man bei dieser Verbindung bloß eine nochmalige Veränderung der Richtung.

Bei Flöten und andern Blasinstrumenten macht man häufig von Klappen Gebrauch, um Löcher zu öffnen oder zu schließen, die das Ende eines Fingers nicht wohl erreichen kann. Soll der Druck des Fingers das Oeffnen bewirken, so kann ein einfacher Hebel wie Fig. 87 dienen. Drückt der Finger bei a, so

*) Schwingen wir einen Hammer, einen Stock, ein Schwert 2c., so drehen wir diese Gegenstände mit dem einen Ende unserer Faust um das andere, und sie kommen daher in sehr schnelle Bewegung.

hebt sich nämlich die Klappe b, und eine Feder c verschließt sie wieder, so wie der Finger entfernt wird. Soll aber eine entfernte Oeffnung durch den Druck des Fingers geschlossen werden, so wird ein zusammengesezter Hebel wie Fig. 88 nöthig.

Sollen dieselben Daumen einer Daumwelle (Fig. 273) z. B. zwei Hämmer bewegen, so kann dies auf ähnliche Weise bewirkt werden. Nachdem nämlich der Daumen a auf den Hebel b gewirkt, drückt er sofort noch den Hebel o abwärts, und hebt durch diesen den zweiten Hammer c.

Oft sucht man hingegen durch zusammengesezte Hebel entweder die Kraft oder die Geschwindigkeit (oder den Weg, den ein bewegter Theil machen soll) zu vergrößern.

So wird in Fig. 89 die Walze a mit großer Kraft an die obere b angedrückt. Denn ist m 8mal weiter von n entfernt, als der Zapfen der Walze a, und ist der Hebelarm pq 6mal länger als rp, so wirkt das Gewicht t wie ein 48faches gegen den Zapfen a; und sind hiemit auf jeder Seite 5 Ztr. angehängt, so wird a mit einer Kraft von 480 Ztr. an die obere Walze b angedrückt.

Ein Beispiel zusammengesezter Hebel findet sich auch Fig. 187.

Bei Fortepianos bedient man sich zusammengesezter Hebel, um eine möglichst schnelle Bewegung der Hämmer zu bewirken. (Fig. 90.)

a ist die Taste, auf die der Finger drückt, und b der Hammer. Dieser hebt sich sehr schnell, da hi ungleich länger ist, als oi. Bei i ist übrigens eine eigene Auslösung vorhanden, damit der aufwärts geschnellte Hammer sofort wieder zurückfallen kann.

Zusammengesezte Hebel, um Kraft zu gewinnen, findet man bei der Stanhope'schen Buchdruckerpresse, einigen Kattundruckmaschinen u. a., bei manchen Flintenschlössern 2c.

§. 533. Zuweilen wünscht man bloß eine Bewegung zu vergrößern, damit sie sichtbarer werde.

Es kann dies auch wohl durch einen einfachen Hebel (einen sogen. Fühlhebel) erreicht werden. Gesezt z. B., man wolle

prüfen, ob eine Walze a (Fig. 91) vollkommen kreisrund sey, so wird ein Hebel cd, der bei b die Walze stets berührt, dazu geeignet seyn; denn wird die Walze gedreht, so wird derselbe hin und her gerückt, wenn a nicht vollkommen rund ist, und ist cd 20mal länger als bc, so wird d um 1''' verrückt, wenn der Halbmesser von a nur um $1/_{20}$''' dünner oder dicker wird.

Noch kleinere Unterschiede lassen sich aber durch die Verbindung zweier Hebel bemerkbar machen.

Man wendet daher solche bei Pyrometern an (169); denn verlängert sich z. B. durch die Hitze der Stab A (Fig. 92) nur um $1/_{100}$''', so wird das Ende des Hebels f um 4''' sich entfernen, wenn mn 20mal größer ist als in, und ox 20mal länger als op.

Mit ähnlichen Doppelhebeln prüft man die Rundung der Spindeln (für Baumwollespinnstühle) und entdeckt leicht eine Abweichung von $1/_{1000}$'''.

Umgekehrt ist der Storchschnabel eine künstliche Verbindung von Hebeln, um jede größere Bewegung in eine verhältnißmäßig kleinere zu verwandeln. Ein Hr. Heilmann benuzte unlängst sogar den Storchschnabel bei der Construktion einer Stickmaschine. *)

§. 534. Man hat endlich auch Vorrichtungen, welche gestatten, den Drehpunkt eines Hebels zu verrücken, so daß die Last vermittelst desselben höher gehoben werden kann. Solche Maschinen heißen Hebladen.

Bei der deutschen Heblade (Fig. 93) bedient man sich eines Balkens ab, der zwei Reihen Löcher hat, in welche ein Bolzen zum Auflegen des Hebels cd gesteckt werden kann. Indem man nun wechselsweise den Bolzen in ein höheres Loch steckt, wird der Stützpunkt allmählig erhöht, so daß die Last so hoch gehoben werden kann, als die Löcher reichen.

*) S. polytechn. Journal, Sept. 1833.

Zweiter Abschnitt.

Von den Wagen.

§. 535. Werkzeuge, mittelst deren wir das Gewicht eines Körpers bestimmen können, heißen überhaupt Wagen. Gewöhnlich versteht man aber unter diesem Namen bloß diejenigen, welche dienen, das absolute Gewicht der Körper zu finden, und nicht auch jene, wie die Aräometer, die hydrostatischen Wagen u. a. (§. 286), womit man das spezifische Gewicht der Substanzen ausmittelt.

Fast alle Wagen im engeren Sinne sind hebelartige Vorrichtungen, und das unbekannte Gewicht wird dabei mit Hülfe eines Gegengewichtes erforscht. Doch kann das Gewicht auch durch die Gegenwirkung einer andern Kraft und namentlich der Federkraft gemessen werden.

Hier reden wir indessen nur von den auf die Theorie des Hebels sich gründenden Wagen. *)

Alle diese Hebelwagen lassen sich in 4 Klassen bringen: gemeine Wagen, römische Wagen, Kunstwagen und Zeigerwagen.

---

*) Von der Federwage war früher (§. 462) die Rede.

1) Von den gemeinen Wagen.

§. 536. Bei der gemeinen oder Krämerwage (Fig. 94) ist der Wagebalken ab ein **gleicharmiger** Hebel, der um i sich dreht, so daß ai = bi. Werden bei a und b Wagschalen angehängt und Gewichte g und l aufgelegt, so wird der Balken nur dann horizontal liegen können, wenn beide Gewichte sich völlig gleich sind, denn nur dann sind beide Momente sich gleich oder g × ai = l × bi.

Der Wagebalken wird vermittelst der Scheere x, in der er mit 2 geschärften Vorsprüngen, der Axe, aufliegt, getragen, und eine senkrechte Nadel, die Zunge y, zeigt, wenn sie in der Scheere einspielt, daß der Wagebalken völlig horizontal liegt.

Damit eine solche Wage richtige Resultate gebe, ist nöthig, daß beide Wagschalen, sowie beide Arme gleich schwer sind, hauptsächlich aber, daß diese lezteren vollkommen die gleiche Länge haben. Dies kann nicht wohl durch das Abmessen erreicht werden, da die geringste Verschiedenheit der Länge schon eine sehr merkliche Unrichtigkeit zur Folge hat. Die Ajustirung geschieht daher, indem man die Gewichte öfters wechselt und den Arm, der herabsinkt, so lange befeilt, bis dieses Verwechseln der Gewichte keinen merklichen Unterschied hervorbringt. Auf diese Weise (indem man die Gewichte vertauscht,) läßt sich auch jede Wage probiren.*)

Gleichgültig ist hingegen, ob die eine Wagschale tiefer hängt als die andere, oder wo das Gewicht auf die Schaale aufgelegt wird, denn der Schwerpunkt stellt sich, wenn die Wagschale frei aufgehängt ist, stets senkrecht unter den Aufhängungspunkt, und

*) Auch mit einer falschen Wage, d. h. mit einer solchen, wo beide Arme nicht völlig gleich lang sind, läßt sich indessen das Gewicht genau finden. Gesezt nämlich, ein Körper wöge auf der einen Wagschaale 15 und auf der andern 17 Loth, so wird sein wirkliches Gewicht $= \sqrt{15 \times 17} = \sqrt{255} = 15{,}9$, also ungefähr das mittlere seyn.

ein angehängtes Gewicht wirkt, als wäre es an dem Aufhängungspunkte befindlich. (§. 466.)

§. 537. Damit aber eine Wage brauchbar sey, ist ferner nöthig: 1) daß der Balken nothwendig horizontal liegen muß, wenn beide Gewichte einander gleich sind, und 2) daß, wenn sie nicht ganz gleich sind, er im Verhältnisse des Uebergewichts in eine mehr oder weniger schiefe Lage komme. Diese wichtigen Eigenschaften erlangt die Wage nur dadurch, daß der Wagebalken etwas über seinem eigenen Schwerpunkte aufgehängt wird.

Gesezt nämlich, der Balken wäre (Fig. 95) in seinem Schwerpunkte c aufgehängt, so würde er, 1) wenn beide Gewichte völlig gleich sind, in jeder Lage, also auch in der schiefen n m, sich ruhig verhalten können, denn ist g = l und n = m, so ist in jeder Lage $g \times n' = l \times m'$. Ebenso würde 2) der Balken bei der mindesten Ungleichheit der Gewichte sofort eine senkrechte Stellung annehmen müssen und eine solche Wage auch darum unbrauchbar seyn.

Befindet sich hingegen der Aufhängungspunkt i etwas über dem Schwerpunkte c, so muß 1) der Wagbalken durchaus horizontal stehen, wenn in beiden Schaalen völlig gleiche Gewichte sind, denn in jeder schiefen Lage würde der Schwerpunkt auf die eine oder andere Seite gerückt, und dadurch das Gleichgewicht gestört. 2) Wird ein Unterschied der Gewichte nicht bewirken, daß der Balken eine vertikale Stellung annimmt, sondern nur eine schiefe, und zwar eine um so schiefere, je größer das Uebergewicht auf einer Seite ist. Der Wagebalken wird sich nämlich so weit neigen, bis die Wirkung des seitwärts gerückten Schwerpunktes dem Uebergewichte auf der andern Seite das Gleichgewicht hält.

Die Zunge macht dann mit der Vertikale oder der Scheere einen Winkel, und dieser Winkel, der Ausschlag heißt, läßt hiemit auf die Größe des Gewichtsunterschiedes schließen.

Bei sehr genauen Wagen bringt man oft eine Skale an, um den Ausschlag zu messen.

Eine Wage heißt um so empfindlicher, je kleinere Unterschiede sie anzeigt. Um sehr empfindlich zu seyn, muß der Punkt i (Fig. 94) nur sehr wenig über e liegen (kaum um $1/_{60}$ von ab), und die Axe sehr scharf seyn. Man macht daher solche Axen von hartem Stahl und läßt sie auf harten Steinen spielen. Eine Wage ist schon ziemlich empfindlich, wenn sie $1/_{5000}$ des Gewichts oder 1 Loth auf 1 Ztr. angibt. Mit Hülfe der Skale lassen sich an feinen Wagen aber noch viel kleinere Unterschiede wahrnehmen.

Wenn jede Schaale einer Probirwage mit 1 Pfund (960 Gran) beschwert ist, und die Zulage von 1 Gran die Zunge um 20 Theilstriche der Skale verrückt, so zeigt jeder Theilstrich $1/_{20}$ Gran und hiemit $\frac{1}{20 \times 2 \times 960}$ oder $\frac{1}{38400}$ des Gewichts an.

Je empfindlicher die Wage ist, desto langsamere Schwingungen macht sie in der Regel.

2) Von den römischen Wagen.

§. 538. Bei den römischen Wagen oder Schnellwagen ist der Wagebalken ab (Fig. 96) ein ungleicharmiger Hebel. Der zu wägende Körper wird auf eine an dem kürzern Arme a hängende Wagschaale aufgelegt, und dann ein Gewicht g (der Läufer) am längern so lange verschoben, bis der Balken horizontal liegt.

Ist der Arm b weit dünner als a, so kann dieser mit Inbegriff der leeren Wagschaale jenem das Gleichgewicht halten. In diesem Falle verhält sich g zu l wie ao zu go. Ist also der Arm b zehnmal länger als a und in zehn Theile getheilt, so wird ein Laufgewicht von 1 Pfund 1, 2, 3 bis 10 Pf. anzeigen, je nachdem es bei der 1sten, 2ten, 3ten oder lezten Abtheilung angehängt wird. Ebenso wird 1 Lothstein eben so viele Lothe angeben, und theilt man jene Abtheilung noch in kleinere Theile ein, so lassen sich auch kleinere Gewichtsunterschiede noch bestimmen.

Mit zwei Steinen lassen sich ferner auch viel größere Lasten abwägen.

Wiegt z. B. ein Körper 56 Pfund, so wird dieses Gewicht gefunden, wenn man einen 5 Pfundstein an das Ende von b und einen 1 Pfundstein bei der sechsten Eintheilung anhängt, denn jener wirkt wie 50 Pfund, dieser wie 6 Pfund.

Gewöhnlich richtet man die Wage so ein, daß die leere Schaale (mit den Ketten) am kürzeren Arme mit dem längeren im Gleichgewicht ist, wenn das Laufgewicht nahe bei o, z. B. bei d, angehängt ist. In diesem Falle ist dann bloß db als die Länge des größeren Armes zu betrachten, und von d an müssen die Abtheilungen gerechnet werden.

Römische Wagen sind in manchen Fällen bequem. Man bedarf nur Eines Gegengewichts, und dieses kann leicht verschoben werden. Auf dem Läuferarme kann man die Gewichte anzeichnen, die der Läufer an jeder Stelle vorstellt. Diese Wage endlich ist leichter zu halten als die gemeine, weil das Laufgewicht kleiner als die Last ist.

Man bedient sich derselben indessen hauptsächlich in Fällen, wo keine große Genauigkeit erfordert wird, oder zum Abwägen sehr großer Lasten.

Fig. 97 stellt die Einrichtung einer Heuwage dar. An den vier Rädern des Wagens werden Ketten befestigt, und diese bei a am kürzeren Arme des Wagebalkens eingehängt. Dann wird dieser nebst dem Wagen mittelst der Kurbel und der Winde x aufgehoben, und darauf der Wagen mit Hülfe der Gewichte p und q gewogen. Ist der lange Arm des Wagebalkens bc zwanzigmal länger als ac, so wirken p = 2 Ztr. wie 40 Ztr. und ein Läufer q = 10 Pf., bei der zwölften Abtheilung wie 120 Pf. Der Wagen würde also 40 Ztr. + $1^1/_5$ Ztr. oder 41 Ztr. und 20 Pf. schwer erfunden werden.

3) Von den Kunstwagen.

§. 539. Wir begreifen unter diesem Namen Wagen, die aus zwei oder mehreren Hebeln zusammengesetzt sind.

Zu diesen Kunstwagen gehört die schwedische Schiffswage Fig. 98. Sie besteht aus zwei ungleicharmigen Hebeln ac und df, die durch den Balken oi getragen werden. Die Last wird bei

b angehängt, und darauf der Balken und hiemit die Wage mit Hülfe der Winde x und einiger Rollen in die Höhe gehoben. Mit kleinen Gewichten, die in die Schaale p kommen, kann auch eine bedeutende Last abgewogen werden. Denn ist ac zehnmal so lang als ab, und fe zehnmal so lang als de, so hält 1 Pf. in p 1 Ztr. in w das Gleichgewicht. Statt der Gewichte in p kann auch ein Laufgewicht dienen.

Eine noch merkwürdigere Kunstwage ist die englische Brückenwage, deren Princip aus Fig. 99 ersichtlich ist. Um einen beladenen Frachtwagen zu wägen, wird derselbe auf eine mit dem Boden ebene Brücke aa gezogen. Diese Brücke ruht auf Balken; wie aber der Wagen gewogen werden soll, wird die Unterlage vermittelst eines kräftigen Mechanismus herabgezogen, so daß die Brücke aa nun auf die kürzeren Arme von 4 Hebeln bd drückt. Es wird durch die Wirkung dieser 4 Hebel die Stange df in die Höhe gezogen und hiemit der zweite Hebel fi. Am Ende von i zieht aber eine Stange an dem dritten Hebel ko, und dieser ist der eigentliche Wagbalken und entweder mit einer Wagschale oder einem Laufgewicht p versehen.

Es ist klar, daß bei dieser Einrichtung eine große Last mit geringen Gewichten abgewogen werden kann. Denn sind die Arme dc achtmal länger als die Arme bc, und hi zehnmal länger als fh, so zieht bei einem Druck von 80 Ztrn. auf die Brücke ki nur mit der Kraft von 1 Ztr., und ist om fünfmal länger als km, so reichen 20 Pf., bei o angehängt, hin, um 80 Ztrn. das Gleichgewicht zu halten.

Es ist dabei ganz gleichgültig, wie die Last auf dem Wagen vertheilt oder ob ein Rad mehr als ein anderes beschwert ist. Man kann sogar die Last des vordern und die des hintern Wagens einzeln abwägen.

§. 540. Eine sehr bequeme Brückenwage, weil sie tragbar ist, ist die von Quintenz erfundene Straßburgerwage. Das Prinzip derselben erläutert Fig. 100.

Die zu wägende Last q wird auf eine Art Brücke pr aufgelegt, die bei p auf einem Hebel at aufliegt, bei r aber an dem

Wagebalken ed aufgehängt ist. Theilt der Schwerpunkt der Last q die Brücke in zwei Theile m und n, so hat r zu tragen $\frac{nq}{m+n}$ und p $\frac{mq}{m+n}$ (470), p drückt bei o auf den Hebel ts, und s zieht daher bei d den Wagbalken herab, allein nur mit einer Kraft $= \frac{pa}{a+b}$, (denn $p \times a = s \times (a+b)$ und also $s = \frac{p \times a}{a+b}$) und da $p = \frac{mq}{m+n}$, so ist $s = \frac{amq}{(a+b)(m+n)}$. Am Wagbalken ziehen hiemit drei Kräfte; auf einer Seite g, auf der andern r und s, und das Gleichgewicht hat Statt, wenn

$$g \times eb = r \times cb + s \times db.$$

Macht man nun $eb = 10\,bc$ und $bc : cd = a : b$, so kann man $eb = 10\,a$, $bc = a$ und $bd = a + b$ setzen, und obige Gleichung verwandelt sich in die folgende:

$$g \times 10\,a = r \times a + s \times (a + b)$$

und da $r = \frac{nq}{m+n}$ und $s = \frac{amq}{(a+b)(m+n)}$, so ist

$$g \times 10a = \frac{nqa}{m+n} + \frac{amq}{m+n} = \frac{(m+n) \times aq}{m+n} = aq,$$

und hiemit $10g = q$.

Und dies, welche Größen m und n haben, d. h. auf welcher Stelle also die Last auf die Brücke aufgelegt ist. Immer wird bei obiger Construction das Gewicht in g einer zehnfachen Last auf der Brücke das Gleichgewicht halten. Diese Wage hat daher auch den Namen Dezimalwage erhalten.

4) Von den Zeigerwagen.

§. 541. Bei dieser vierten Art von Wagen wird das Gewicht eines Körpers nicht an einem Gegengewichte, sondern an dem veränderten Stande des Wagebalkens erkannt.

Eine solche Wage besteht aus einem ungleicharmigen Winkelhebel acb (Fig. 101), dessen längerer Arm b einem Zeiger ähnlich eine eingetheilte Skale oz bestreicht.

Wie mit einer solchen Vorrichtung gewogen werden kann, ergibt sich aus Folgendem:

Ist der Schwerpunkt des kürzeren Armes in a und sein Gewicht = A, und der Schwerpunkt des längeren in b und dessen Gewicht = B, so würde der leere Hebel in der Stellung acb ruhig stehen, wenn dann beide Momente gleich sind, d. h. $A \times ac = B \times bc$.

Sowie man aber irgend eine Last p bei a anhängt, wird sich die Lage des Hebels verändern, derselbe jedoch wieder eine bestimmte Stellung annehmen müssen. Der kürzere Arm wird nämlich so lange sinken und der längere steigen müssen, bis nun $(A + p) \times a'c = B \times b'c$, denn nun sind wieder beide Momente gleich. Je größer p ist, desto tiefer wird a sinken und desto kleiner die Entfernung von c werden, und umgekehrt desto höher b steigen. Und bezeichnet man an der Skale oz die verschiedenen Stellungen des Zeigers b, je nachdem p ein gegebenes Gewicht ist, so wird man an derselben leicht absehen können, wie schwer der bei a angehängte Körper ist.

Es ist klar, daß sich diese Wagen auf mancherlei Weise herstellen lassen, daß, wenn der kürzere Arm viel schwerer ist, die Last auch an dem längern angehängt werden kann, daß die Skale eine gerade Linie oder ein Kreisbogen seyn mag, daß die Abtheilungen sich auch werden durch Berechnung finden lassen, und daß man dergleichen Wagen für beliebige Gewichtsunterschiede empfindlich einrichten kann.

Bis jezt macht man von solchen Wagen besonders in Spinnereien Gebrauch, um schnell jede Garnstrehne abzuwägen, und dadurch ihre Feinheit oder Numer zu bestimmen. Ist nämlich jede Strehne aus einem Faden von gleicher Länge gebildet, so muß das Garn in dem Maße feiner seyn, als eine Strehne weniger wiegt. Gewöhnlich bezeichnet die Numer die Anzahl Strehnen, die auf 1 Pfund gehen. Von Numer 32 gehen 32 Strehnen auf 1 Pfund, und jede wiegt also 1 Loth. Nach dem englischen Systeme ist jede Strehne (hank) 2520 englische Fuß lang; 1 Pfund Garn von Numer 40 mißt also 40×2520 oder 100,800! —

Da in den meisten Spinnereien nur Garne von gewissen Numern gesponnen werden, z. B. von Numer 20 bis 40, so kann die Garn- oder Sortirwage sehr empfindlich gemacht werden, da die äussersten Punkte der Skale nur eine Verschiedenheit von der einfachen bis zur doppelten Feinheit zu bezeichnen brauchen. *)

Ohne Zweifel sind solche Zeigerwagen aber noch zu vielen andern Anwendungen bequem.

---

*) Ueber die Eintheilung der Sortirwagen s. polyt. Journ. B. 56. S. 8.

Dritter Abschnitt.

Anwendung der Rollen.

---

§. 542. Wenn gleich durch eine fixe Rolle nichts und durch eine bewegliche höchstens das Doppelte an Kraft gewonnen werden kann (472), und überdies dabei immer an Kraft verloren wird wegen der Reibung des Seiles an der Rinne oder dem Schnurlaufe, der Reibung der Rolle an der Axe oder der Axe in den Zapfenlöchern, und insbesondere noch wegen der Steifheit der Seile, so sind diese einfachen mechanischen Organe doch oft sehr vortheilhaft, und finden daher vielfache Anwendung. Man verfertigt sie entweder aus hartem Holz oder aus Metall (Eisen oder Bronze), und läßt sie entweder um eine durch ihre Mitte gehende lose Spindel drehen, oder versieht sie mit einer festen Axe, deren Enden in Zapfenlagern umgehen.

§. 543. Fixe oder feste Rollen wendet man hauptsächlich an, wenn durch die Zugkraft an einem Seile eine Bewegung in abweichender Richtung erhalten werden soll. Solche Rollen kamen bei den Vorrichtungen Fig. 66 und 98 vor. So machen die zwei Rollen x und y (Fig. 102) möglich, daß ein an dem Seile a in horizontaler Richtung ziehendes Pferd die Last p senkrecht in die Höhe zieht, und häufig werden wir noch in der Folge bei Maschinen Rollen vorfinden. Jeder kennt übrigens

den mannichfachen Gebrauch derselben im täglichen Leben bei allerlei Zugvorrichtungen.

Oefters wendet man indessen auch fixe Rollen an, bloß um die Reibung zu vermindern. Solche heißen dann Friktionsrollen, und wirken wie kleine Räder. Sowie nämlich ein um eine Axe sich drehendes Rad weit weniger Reibung hat, als wenn es bloß auf einer Fläche fortrutschen muß, so kann, so oft ein Körper a (Fig. 103) auf einem andern b d fortgeschoben wird, die Reibung dadurch bedeutend vermindert werden, daß man den fortgleitenden mit einem kleinen Rade, d. h. mit einer Rolle c versieht. So bringt man gerne am Ende der Hebelatten c (Fig. 51) eine Friktionsrolle an. *) Aus demselben Grunde versieht man die Füße von Bettstellen, Tischen ꝛc. oft mit Rollen, damit sie sich leicht hin= und herziehen lassen. In diesen Fällen wirken, wie gesagt, die Rollen als kleine Räder oder Walzen, und die Reibung ist im Verhältniß des Durchmessers der Rolle zu dem der Axe vermindert.

§. 544. Bewegliche Rollen gestatten hingegen eine Ersparung an Kraft, und sie werden zu dem Ende um so häufiger angewendet, da sich durch Verbindung mehrerer Rollen diese Ersparniß bedeutend erhöhen läßt.

Eine einfache Verbindung einer beweglichen Rolle b mit einer festen f zeigt Fig. 104. Die feste hat einen doppelten Kloben; der eine dient, um sie an A anzuhängen, der andere, um das Seil x an diese Rolle, statt ebenfalls an A, zu befestigen. Um die Last q mit dieser Vorrichtung zu halten (oder zu ziehen), bedarf es einer Kraft $p = \frac{1}{2} q$ (insoferne von allen Hindernissen abgesehen wird). Auch ist klar, daß p um 2′ herabziehen und also einen zweimal größeren Weg durchlaufen muß, wenn q um 1′ gehoben werden soll, denn beide Seile x und y müssen um 1′ kürzer werden.

---

*) Dergleichen Friktionsrollen sehen wir in den Fig. 175, 200, 241, 258 u. a. m.

Bei dem Apparate Fig. 105 geht das Seil über drei bewegliche und drei feste Rollen. Sowohl die einen als die andern befinden sich in einem gemeinschaftlichen Gehäuse oder Kloben, und die beweglichen steigen also gleichmäßig, wenn schon die Rollen einen verschiedenen Durchmesser haben. Man nennt diese beiden Gehäuse mit ihren Rollen Flaschen, und ein solches Werkzeug einen Flaschenzug.

Dieser Flaschenzug (Fig. 105) gestattet (wofern keine Nebenlast zu überwinden wäre), mit einer Kraft k eine sechsmal größere Last zu halten oder zu heben; denn soll q um 1′ gehoben werden, so müssen sechs Seile um 1′ verkürzt und also k um 6′ abwärts gezogen werden.

Man kann diesen Flaschenzügen eine verschiedene Form und Einrichtung geben, und mehr oder weniger Rollen anwenden. *) Immerhin wird theoretisch die Last im Verhältniß der Anzahl tragender Seilstücke größer seyn können, als die Kraft. Sind fünf Seilstücke vorhanden, so wird das Fünffache, sind ihrer acht da, so wird das Achtfache an Kraft gewonnen.

In der Wirklichkeit ist zwar bei diesem Werkzeuge der Gewinn an Kraft bedeutend geringer, weil namentlich durch die Steifheit der Seile, deren so manche beständig gekrümmt werden müssen, ein beträchtlicher Widerstand entsteht, weil ausserdem die Seile meist nicht völlig parallel liegen und daher etwas schief an den Rollen ziehen, und weil endlich die Reibung der Seile und Zapfen nicht unbedeutend ist, obschon das Gewicht der Last sich auf die verschiedenen Rollen vertheilt. **)

Da jedoch eine solche Maschine nur wenig Raum einnimmt und sich leicht transportiren und anbringen läßt, so ist sie

---

*) Bei manchen stehen z. B. die Rollen nicht über, sondern neben einander, bei einigen auch läuft das Seil über zwei Kegel, die verschiedene concentrische Rollen bilden.

**) Eben deßhalb braucht denn auch das Seil nicht so stark zu seyn. Um eine Last von 6 Zentnern mit einem sechsfachen Flaschenzuge zu heben, braucht das Seil nur stark genug zu seyn, um 1 Zentner zu tragen.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

in vielen Fällen sehr vortheilhaft. Bei Bauten wenden die Arbeiter Flaschenzüge vielfach an, nicht nur, um schwere Körper, sondern um sich selbst in die Höhe zu ziehen oder herunter zu lassen. Die Bewegung läßt sich dabei sehr leicht aufhalten, indem man bloß das Zugseil irgendwo fest zu machen braucht.

§. 545. Auf mancherlei Weise kann man auch mehrere Rollen mit einander verbinden, ohne sie in Flaschen einzuschließen, und dann wohl mit wenigen Rollen in weit grösserem Verhältnisse als bei den Flaschenzügen an Kraft gewinnen.

Fig. 106 stellt eine solche Zusammensetzung oder einen Rollen- oder Potenzenzug dar, und hier mag die Kraft p eine sechzehnmal größere Last q tragen. Soll jedoch q und also die Rolle z um 1′ sich heben, so muß y um 2′, x um 4′ und w um 8′ steigen, und da beide Seilstücke t und s um 8′ also verkürzt werden müssen, so muß die Kraft p um 16′ abwärts sinken. Man sieht also immer, daß was an Kraft gewonnen wird, an Geschwindigkeit aufgeopfert werden muß.

Die Rollenzüge werden übrigens, da sie zwar wirksamer, aber unbequem sind, selten gebraucht.

Eine bewegliche Rolle kann endlich dienen, um mit Einem Gewicht zwei Schnüre zu spannen, die über Wellen von ungleichem Durchmesser oder ungleicher Geschwindigkeit gewickelt sind. So wendet man sie oft bei Gewichtuhren, bei Bandstühlen u. s. w. an. Das Gewicht p (Fig. 107) wird nämlich die Walzen a und b umdrehen können, obschon sich das Seil von der einen schneller als von der andern abwickelt.

Beim Bandstuhle wird nur von Zeit zu Zeit Kette ab- und Band aufgewickelt; da nun jene während des Webens immer kürzer und dieses länger wird, so läßt man beide über Stangen wie n und m laufen (Fig. 107 bis), und spannt sie durch eine Gewichtsrolle p. Wie das Band xy länger wird, sinkt die Rolle p, die Spannung bleibt immer dieselbe und kann groß genug seyn, um das Band gehörig nachzuziehen.

Bayerische Staatsbibliothek München

Vierter Abschnitt.

Anwendung der Seilräder.

§. 546. Die Verbindung zweier Rollen durch ein endloses Seil ist ein treffliches Mittel, um die rotirende Bewegung einer Axe auf eine andere mehr oder weniger entfernte zu übertragen. Von dieser Vorrichtung macht man daher vielfachen Gebrauch.

Fig. 108 und 109 zeigen zwei solcher Seilräder. In Fig. 108 sind die Scheiben a und b mit einer offenen, in Fig. 109 mit einer gekreuzten Schnur verbunden.

Soll b mittelst des Seils durch die Umdrehung von a in Bewegung gesezt werden, so ist dies nur möglich, wenn die Reibung des Seils an der Rolle b größer ist, als der Widerstand, der sich bei der Umdrehung um ihre Axe ergibt. Denn ist der leztere größer, so wird die Schnur über den Umfang der Rolle b weggleiten, ohne sie mit herum zu führen.

Es geht daraus hervor, daß je größer der Widerstand von b ist, die Schnur desto fester und in mehreren Punkten anliegen muß, und daß diese Vorrichtung hauptsächlich da anwendbar ist, wo die Bewegung keine zu sehr große Kraft erheischt.

Die Schnurräder Fig. 108 und 109 unterscheiden sich übrigens dadurch von einander, daß bei gekreuzter Schnur das Seil einen viel größern Theil des Umfangs berührt; ausserdem aber,

daß bei offener Schnur beide Rollen nach derselben, bei gekreuzter hingegen nach entgegengesezter Richtung umlaufen. *)

§. 547. Damit das Seil die Rolle b umtreibe, muß es demnach die gehörige Spannung haben. Bei zu geringer würde es rutschen, bei zu starker aber die Bewegung unnöthiger Weise erschweren. Da nun Schnüre, Bänder oder Saiten sich oft etwas ausdehnen oder verkürzen, so muß sich die Spannung wo möglich reguliren lassen. Es geschieht dies gewöhnlich, indem man die eine der Rollen (wie beim gemeinen Spinnrade u. a.) etwas verschieben kann. Zuweilen aber auch, indem man eine kleine Spannrolle (Fig. 108) c anbringt, die sich verrücken läßt. **)

Um die Reibung zu vermehren, wendet man statt Seile oft zusammengeschnallte Riemen oder Ketten an. Im erstern Falle sind die Rollen dann breit, und zuweilen gekerbt oder etwas gewölbt. Im leztern versieht man sie mit Hervorragungen oder Zähnen, in welche die Kettengelenke eingreifen, so daß alles Rutschen unmöglich wird. Man bedient sich dann vorzugsweise flacher Ketten, z. B. Vaucanson'scher.

§. 548. Mittelst der Schnurräder läßt sich ferner, wie mit gezähnten Rädern, eine verschiedene Umlaufsgeschwindigkeit hervorbringen; denn da offenbar jeder Punkt am Umfange beider Rollen gleichgeschwind sich bewegt, so mußte die Zahl der Umgänge sich umgekehrt verhalten, wie die Umfänge oder die Durchmesser.

---

*) Bei den Canellirstühlen (um gefurchte Cylinder zu verfertigen) muß der Wagen, der das Messer führt, hin- und zurückgehen; doch weit schneller zurück, da dann das Messer nicht arbeitet. Fig. 292 zeigt eine Vorrichtung. ab ist eine Schraubenspindel, die den Wagen führt. c eine kleine Rolle mit gekreuzter, d eine größere mit offener Schnur. Beide sitzen lose. Wird f in d eingerückt, so geht der Wagen langsam vorwärts; greift f in c ein, so geht er schnell zurück.

**) Diese Spannrolle kann dann wohl auch dienen, nach Belieben die Mittheilung der Bewegung abzustellen, während a umzulaufen fortfährt.

Bayerische Staatsbibliothek München

Hat z. B. a einen 3mal größern Durchmesser als b, so macht b 3mal mehr Umgänge in derselben Zeit als a.

Durch ein einfaches Schnurrad kann oft schon eine sehr große Geschwindigkeit erlangt werden. So werden die Spindeln bei Spinnrädern oder Schleifsteinen ausnehmend schnell umgedreht. Ist das Spinnrad A (Fig. 112) 20mal breiter als die Rolle (Wirtel) b, und wird jenes in 1 Sek. 1½mal umgetrieben, so macht b in 1 Sek. 30 Umgänge. Ist hiemit an dem Wirtel eine Spindel, von deren Spitze ein Faden in derselben Richtung fortläuft, so wird dieser in 1 Sek. 30mal um seine Axe gedreht oder 30mal gezwirnt. Eine so schnelle Bewegung ließe sich nicht wohl durch gezähnte Räder hervorbringen, denn sie würde durch die ungleich größere Reibung sehr erschwert. Ebenso macht ein an b befestigter Schleifstein B 30 Umgänge, und hat dieser 2′ Umfang, so macht jeder Umfangspunkt in 1 Sek. einen Weg von 60′.

Oft erzeugt man die gewünschte Geschwindigkeit mit Hülfe mehrerer Seilräder. Macht der Baum a (Fig. 113) 24 Umgänge per Min. und soll die Axe x (z. B. eines Windflügels) 480 Umgänge machen, so wird dies erreicht, wenn A 4mal breiter ist als b, und B 5mal breiter als c; denn dieses macht dann 20mal mehr Umläufe. *)

§. 549. Durch ein und dasselbe Seil lassen sich mehrere Rollen in Bewegung setzen, wenn man eine hinreichende Reibung veranstaltet. So wird die Rolle a (Fig. 114) die beiden Rollen bb, oder die vier Rollen cc drehen, wenn der Widerstand gering ist, weil die Schnur immer noch die Rollen in mehr als einem Punkte bestreicht. Bei ovalen Spulmaschinen dreht

---

*) In Nadelfabriken macht jeder Umfangspunkt des Spitzrings oft an 100′ per Sekunde. Der Schlagflügel eines Batteurs (in Baumwollespinnereien) macht oft per Min. 1200 Umgänge, und die Schlagstange also, wenn der Flügel ¾ Durchmesser hat, an 3800′ per Min.

auf diese Weise eine Scheibe oft 40 und mehrere Spindeln mit einem Riemen.

Oft bewirkt man die nöthige Reibung an den Rollen cc, indem man (wie Fig. 115) die Schnur über Leitrollen i gehen läßt; *) zuweilen ferner, indem man die Schnur um einzelne Rollen ganz herumschlingt u. s. w.

Sehr oft wendet man, um viele Wirtel mit mehreren Schnüren, aber durch ein einziges Rad in Bewegung zu setzen, Trommeln an. So treibt die Trommel A (Fig. 116) mit 6 Schnüren 12 Spindeln.

Die unterste Schnur a umfaßt die Wirtel 1 und 7, die etwas höher liegende b 2 und 8 u. s. f. Die Trommel selbst wird wieder durch eine an ihrer Axe sitzende Rolle x umgetrieben. Auf diese Weise sezt an den Mulejennys 1 Seilrad oft 16 Trommeln und jede Trommel 20 — 24 Spindeln in Gang.

Gewöhnlich liegen beide Rollen (wie Fig. 108) in Einer Ebene, doch ist dies nicht nothwendig. So treibt Fig. 110 die senkrechte Scheibe a eine horizontal liegende Rolle b. **) Zuweilen bringt man wie Fig. 111, um die Richtung leichter abzuändern, Leitrollen cc an. ***)

§. 550. In vielen Fällen ist es wichtig, die relative Geschwindigkeit abändern zu können. Durch verschiedene Vorrichtungen ist dies möglich.

Man kann 1) eine mehrläufige Rolle b (Fig. 117) anwenden; denn, schlingt man das Seil über den äussersten Lauf, so

*) Diese Leitrollen werden hier nöthig, wenn die Wirtel c in gerader Linie stehen, und sich alle nach derselben Richtung drehen sollen.

**) Bei den Drosselstühlen (den Watertwistspinnstühlen) sezt eine horizontale Walze an 60 Spindeln in Bewegung, die zuweilen per Min. 4000, also per Sek. an 66 Umgänge machen. Eine solche Geschwindigkeit wäre mit Zahnrädern ganz unmöglich.

***) Bei den Knäuelmaschinen wird die Spindel, an der der Knäuel steckt, durch eine Rolle bewegt, die beständig ihre Richtung ändert. So erhält man, daß sich der Faden beim Aufwickeln regelmäßig durchkreuzt.

geht b langsamer, und schlingt man es über den innern, so geht b schneller. Es muß alsdann jedoch entweder b verrückt, oder das Seil verlängert oder verkürzt werden können. —

Dieser Uebelstand fällt weg, wenn man 2) wie Fig. 118 zwei mehrläufige Rollen A und B und zwar verkehrt gegen einander stellt.

Haben die kleinsten Rollen 4″, die mittlern 6″ und die größten 8″ Durchmesser, so wird A mit der gleichen Geschwindigkeit wie B sich drehen, wenn das Seil über b und o gezogen ist. A geht hingegen 2mal langsamer als B, wenn das Seil über a und n geschlungen wird; und umgekehrt 2mal schneller, wenn es über c und p läuft. Und in allen diesen Fällen wird das Seil gleich lang und also auch gleich gespannt seyn. Diese Vorrichtung, die beliebig abgeändert werden kann, ist besonders bei Drehstühlen ꝛc. nützlich. *)

Eine ganz allmählig sich verändernde Geschwindigkeit erreicht man, wenn man 3) statt Rollen zwei verkehrt stehende Kegel A B wie Fig. 119 anwendet. Bei manchen Maschinen bringt man dann zugleich einen Mechanismus an, der gradatim das Seil y verschiebt. Verhalten sich die äussersten Durchmesser wie 3 : 2, so kann die relative Geschwindigkeit von $^2/_3$ bis zu $^3/_2$ verändert werden, oder man kann die Axe A 20 — 45 Umläufe machen lassen, während B 30mal umläuft.

Man hat endlich 4) auch Räder oder Rollen angegeben, deren Umfang sich (durch Verschiebung gewisser Theile) vergrößern oder verkleinern läßt.

§. 551. Da sich durch die Schnurräder so mancherlei Bewegungen hervorbringen lassen, so werden sie in unzähligen Fällen angewendet, theils um die Bewegung von einem Theile einer Maschine an andere zu übertragen, theils um überhaupt eine Maschine mit dem Motor in Verbindung zu setzen.

*) Gewöhnlich gibt man solchen konischen Rollen flache Läufe und verbindet sie mit Riemen. Ein Griff, durch den der Riemen läuft, dient, um diesen schnell zu verschieben.

Ist AA ein sich umdrehender Wellbaum, so kann man durch Seilrollen wie a, b einen zweiten Baum B und durch Seilrollen wie c, d Maschinen CC in Bewegung setzen. (Fig. 122.)

Besonders eignen sie sich, um die Transmission der Bewegung in eine gewisse Entfernung zu bewirken. Dabei ist die Vorrichtung einfach und die Bewegung sanft und geräuschlos. Auch ist dadurch leicht eine beliebige relative Geschwindigkeit verschiedener Organe zu erzielen. Da man indessen nicht vollkommen sicher ist, daß jeweilen alles Rutschen des Seils gehindert ist, so verdienen Zahnräder den Vorzug, wenn ein beträchtlicher Widerstand überwunden, oder wenn (wie bei Uhren) ein gewisses Geschwindigkeitsverhältniß sehr genau erzielt werden muß.

Die mannichfaltigste Anwendung der Seilräder findet sich wohl bei den verschiedenen Maschinen der mechanischen Spinnereien. Durch ein Seilrad kommt ein ganzer Mulestuhl in Gang; ein einziges Seil sezt eine Menge Trommeln und durch diese oft 3 — 400 Spindeln in Bewegung. Beim Twiststuhl machen die durch eine Schnurwalze in Bewegung kommenden Spindeln oft 3 — 4000 Umgänge in 1 Min. Mit sehr ungleicher Geschwindigkeit werden die verschiedenen Organe der Kratzmaschinen meist mit Hülfe solcher Räder umgetrieben. Allerlei künstliche Seilverbindungen finden sich bei den Laternenstühlen, der Flyrovings, den Zwirn- und Knäuelmaschinen u. a. m.

Auch Bohrmaschinen werden durch Seilräder in Bewegung gesezt.

Feine Bohrer werden zuweilen mittelst eines Drehbogens Fig. 120 hin- und hergedreht. Der Bohrer geht durch eine kleine Rolle a, um die man die durch den Bogen d gespannte Saite bc schlingt, so daß sie beim Hin- und Hergehen des Bogens schnell und mit Kraft gedreht wird. Bei großen Bohrmaschinen wird hingegen der Bohrer ab (Fig. 121) anhaltend und gewöhnlich durch eine mehrläufige Rolle c umgedreht, damit die Geschwindigkeit sich ändern läßt, während der zu bohrende Gegenstand d durch ein Gegengewicht p stets gegen den Bohrer angedrückt wird.

§. 552. Sezt ein Motor durch Seilräder mehrere Maschinen in Gang, so ist es wichtig, jede einzeln augenblicklich abstellen zu können, ohne daß die Bewegung des Motors gestört werde. Es ist dies auf verschiedene Weise zu bewerkstelligen.

Wird z. B. die Axe von b (Fig. 109) der Rolle a etwas näher gerückt, so hört sofort die Umdrehung von b auf, obschon a sich fortdreht, weil das Seil nun locker wird.

Ist eine solche Verrückung nicht thunlich, so kann durch Verrückung einer besondern Stemm- oder Spannrolle c (Fig. 108) die Schnur nach Gutfinden lose gemacht oder angespannt werden.

Gewöhnlich bedient man sich aber zu diesem Endzweck zweier glatter Rollen x und y (Fig. 123), wovon nur die eine x an der Axe ab festsizt. Diese heißt die Treibrolle, die andere y hingegen, die nur lose daran steckt, die Leer- oder todte Rolle. Der Treibriemen o geht durch eine Zange p, und kann dadurch nach Belieben über x oder über y gezogen werden, je nachdem die Maschine gehen oder stillstehen soll. *)

Oft dient ein Muff wie f Fig. 292. (§. 542, Note.)

---

*) Gewöhnlich werden die Rollen durch lederne Riemen verbunden. Solche Riemen müssen biegsam, daher mit Talg eingeschmiert und nicht zu stark gespannt seyn, damit sie sich nicht dehnen und nicht unnöthiger Weise den Druck auf die Axen vermehren. Einfache Riemen sind besser als doppelte, weil diese sich auf einander reiben; und glatte besser als gefurchte, weil der Riemen mehrere Punkte berührt. Je größer die Geschwindigkeit ist und die Menge von Berührungspunkten, desto größer ist die Kraft, die sich übertragen läßt. Nach Laborde eignet sich ein Riemen von 3″ Breite, der 500′ per Min. macht, zur Transmission von einer Pferdekraft. (Ueber Benoits Schnurkraftmesser, oder einen Dynamometer, um die Spannung der Riemen zu messen. S. polytechn. Journal 30, 247.)

Anhang.

Von einigen andern Arten von Seilzügen.

§. 553. Bei den Schnurrädern bezweckt man, mittelst eines endlosen Seils die Bewegung einer Rolle oder Walze auf eine andere zu übertragen; man kann jedoch auch die Bewegung des durch die Friktion an Rollen fortgezogenen Seiles oder Bandes selbst zum Zwecke haben. Solche Vorrichtungen nennen wir Seilzüge.

Zuweilen veranstaltet man dadurch eine hin- und hergehende Bewegung. So bei den Mulestühlen. Ueber die Rollen a und b (Fig. 125) geht ein starkes endloses Seil, an welchem bei c der Wagen dd befestigt ist. Wird b langsam nach der Richtung des Pfeils gedreht, so wird das Seil und damit der Wagen von a nach b fortgezogen. Wird b dann in umgekehrter Richtung gedreht, so geht der Wagen ebenso wieder zurück.

Aehnliche Vorrichtungen finden sich bei Buchdrucker- oder lithographischen Pressen, um die Form oder den Stein vor- und rückwärts zu schieben.

Häufiger noch beabsichtigt man einen fortwährenden Zug nach derselben Richtung. Namentlich hat dies bei den nun vielfach gebräuchlichen Walzen mit einem endlosen Tuche Statt.

Sind a und b (Fig. 124) zwei Walzen, über die ein solches Tuch cd geschlagen ist, so kann, bedeckt man c mit Wolle, diese allmählig und gleichmäßig dem Walzwerke x angenähert werden, wenn a oder b langsam gedreht wird. *)

Nach demselben Prinzip sind Schöpfwerke für Wasser oder Getreide (in Mühlen und Brauereien) eingerichtet. Ueber die Walzen p und q (Fig. 126) gehen endlose Seile, an denen Schöpfkübel c befestigt sind. Wird p in der Richtung des Pfeils gedreht, so füllen sich die Kübel in x, gehen dann in die Höhe und leeren sich bei y.

§. 554. Auch eine einzige Rolle (oder Walze) kann ein darüber gehendes Seil (oder einen Riemen) mit sich fortziehen,

*) Bei einigen Papiermaschinen geht ein endloses Drahtgewebe über zwei Walzen.

wenn die Reibung groß genug ist, sowie umgekehrt in diesem Fall ein Seil die Rolle. Es kann hiemit die rotirende Bewegung einer Walze ein geradlinigtes Fortziehen eines Seils, sowie ein solcher Zug das Umdrehen einer Walze bewirken.

Gewöhnlich läßt man die Schnur sich auf der Walze auf- und abwickeln.

Bei den Zettel- oder Scheerrahmen z. B. wird der Rahmen A (Fig. 127) durch die Seilscheiben a, b und mittelst der Kurbel c bald links, bald rechts umgedreht, damit der Zettel sich aufwinde. Da dieser aber spiralförmig aufgewunden werden muß, so muß der Fadenleiter d allmählig steigen oder sinken. Dies wird dadurch vermittelt, daß d an einer Schnur hängt, die, je nachdem der Rahmen sich dreht, auf der Axe des Rahmens bei e sich auf- oder abwickelt.

Ist das eine Ende der Schnur irgendwo befestigt, so kann durch das Aufwickeln derselben auf eine Spindel diese sich selbst fortziehen.

Dieser Mechanismus kommt z. B. bei Tuchscheermaschinen (mechanischen Scheertischen) vor. (Fig. 128.) Bei jedem Schnitte muß nämlich die Scheere um ein Weniges fortgeschoben werden; und dies geschieht, indem die Scheere auf einem Gestelle (oder Wagen) w ruht, indem bei jedem Schnitte das Sperrrad a um einen Zahn gerückt und hiemit ganz langsam die Spindel b gedreht wird, und indem endlich diese Spindel eine Zugschnur c aufwickelt, die bei d fest gemacht ist.

Ist die Reibung der über eine Rolle a (Fig. 129) geschlagenen Schnur groß genug, damit das Rutschen verhindert wird, so kann auch ohne Umwickeln ein angehängtes Gewicht p die Rolle umgehen machen. So werden oft bei gemeinen Uhren die Gewichte angehängt; damit die Schnur wirken kann, wird die Rinne oder der Schnurlauf eingekerbt oder rauh gemacht.

§. 555. Wir berühren hier noch eine sinnreiche Anwendung der Rollen, um eine Bewegung in vollkommen paralleler Lage zu erhalten. Diese Vorrichtung kommt namentlich bei den Mulespinnstühlen vor, damit der Wagen aa (Fig. 130), während er

vor- oder rückwärts gezogen wird, immer mit selbst parallel fortrücke.

Es wird dies auf folgende Weise bewirkt. An jedem Ende des oft 40′ langen Wagens sind zwei horizontale Rollen n und m an einer und derselben Spindel lose, damit sie sich in entgegengesezter Richtung drehen können, übereinander gesteckt, und eine Schnur pp, die bei a und b befestigt ist, wird (wie die Figur zeigt) über die untern, eine zweite qq, die an c und d fest gemacht ist, über die obern Rollen gespannt. Da beide Schnüre pp und qq vollkommen gleiche Länge haben, so ist leicht zu erkennen, daß sie durchaus nicht eine Abweichung des Wagens von der senkrechten Richtung gegen die Linie xy gestatten, denn bei jeder im Mindesten schiefen Stellung müßte die eine Schnur länger seyn. Diese Rollen (die man bei jener Maschine die Kreuzrollen nennt) nöthigen daher den Wagen, wenn er gezogen wird, sich immerfort in derselben parallelen Richtung zu bewegen.

Fünfter Abschnitt.

Anwendung verzahnter Räder.
(Räderwerke.)

§. 556. Obschon das Seilrad das einfachste und bequemste Organ ist, um die Bewegung einer Welle auf eine andere zu übertragen, so macht man doch zu diesem Ende häufiger noch von verzahnten Rädern Gebrauch. Die Transmission durch solche Räder ist nämlich jedenfalls sicherer oder zuverlässiger; denn greifen die Zähne zweier Räder ineinander, so muß die Bewegung des einen nothwendig die des andern bewirken, und zwar in einem bestimmten Geschwindigkeitsverhältnisse, und welche Last auch zu überwinden ist.

Offenbar wirken solche Räder in jedem einzelnen Augenblicke wie zusammengesezte Hebel. (532) Ist a (Fig. 131) die Welle des Rades, und b die des Getriebes, so wirkt die Kraft k an dem ungleicharmigen Hebel acn und die Last l an dem Hebel bpn; und haben beide Wellen gleiche Durchmesser, so muß sich k zu l verhalten wie cn : bn, oder wie der Durchmesser (oder Umfang) des Rades zu dem des Getriebes.

Ist der Durchmesser des Rades 4mal größer als der des Getriebes, so muß auch k 4mal größer seyn als l. Und in der That muß in diesem Falle auch l einen 4mal größern Weg zurücklegen. Denn so weit ein Zahn des Rades fortrückt, so weit

muß auch immer das Getriebe fortrücken, und hat also dieses einen 4mal kleinern Umfang, so muß der Winkel des Bogenstücks 4mal größer seyn, und das Getriebe also 4 Umgänge machen, während das Rad 1mal umgeht. Es muß hiemit auch die Welle b 4mal mehr Umgänge machen, als die Welle a, und demnach l 4mal höher steigen, als k sinkt.

Die Zähne beider Räder haben also wohl dieselbe Geschwindigkeit, nicht aber die Umfangspunkte der Wellen, und bei Räderwerken pflegt man unter der relativen Geschwindigkeit eben diese leztere, oder die Zahl ihrer Umgänge zu verstehen.

Man sagt also, daß B 4mal geschwinder umlaufe als A, wenn B einen 4mal kleinern Durchmesser hat, weil B in diesem Falle 4mal mehr Umgänge macht.

§. 557. Aus dem Ebengesagten ergibt sich nun, 1) daß die Zähne solcher Räder eine gewisse Stärke haben müssen. Sie müssen nämlich den Druck aushalten, den sie gegen einander ausüben; und dieser ist $= \frac{rp}{R}$, wenn R den Radius des Rades, r den der Welle und p die an dieser wirkende Kraft bezeichnet.

Ist R = 6′, r = $\frac{1}{2}$′, und k = 10 Ztr., so ist der Druck = $\frac{5}{6}$ Ztr. (Wirkt hingegen die Kraft gegen den Umfang des Rades wie q, so ist der Druck des Zahnes gegen den andern = q.)

Diesen Druck muß der Zahn aushalten, ohne die mindeste Gefahr, zerbrochen zu werden.

Die Stärke hängt einerseits von dem Material ab. Metallene Zähne sind weit stärker als hölzerne, und diese werden aus dem zähesten Holz zu verfertigen seyn. Anderseits hängt die Stärke von der Dicke und Breite des Zahnes oder dem Querschnitte ab.

Ist a (Fig. 132) ein Zahn, der in dem Radkranze mm steckt, und nennen wir d die Dicke, b die Breite und h die Höhe des Zahns, so ist b × d der Querschnitt.

Man kann hiemit die Stärke vermehren, indem man den Zahn dicker oder breiter macht. Gewöhnlich macht man aber bei großen Rädern die Zähne etwa 4 oder 5mal breiter als dick. Der

Querschnitt ist also = 4 dd oder 5 dd; und gesezt, die erforderliche Stärke erheische einen Querschnitt = 10 □″, so wäre 4 dd = 10 □″ und dd = 2,5, und also $d = \sqrt{2,5} = 1,59''$.

Hölzerne Zähne müssen (bei gleicher Breite) wenigstens 2mal dicker gemacht werden als eiserne, da Gußeisen wenigstens 4mal stärker ist.

Man sieht hiemit, daß der Druck, den die Zähne eines Rades erleiden, die Dicke derselben bestimmt.

§. 558. Damit ferner die Transmission der Bewegung anhaltend sey, müssen 2) Rad und Getriebe ringsum mit Zähnen besezt seyn, und zwar so, daß, bevor zwei Zähne sich verlassen, zwei folgende gegenseitig in Berührung und Wirksamkeit kommen.

Zu dem Ende müssen beide Räder dieselbe Schrift haben, und daher ihre Zähne (die überdies auch den gleichen Druck erleiden) 1) ungefähr gleich dick seyn, und 2) der Zwischenraum zwischen zwei Zähnen um Weniges nur die Zahndicke übersteigen.

Ist a b (Fig. 133) der Umfang des Radkranzes, auf dem die Zähne x und y stehen, so sieht man die punktirte Kreislinie c d als den Umfang des Rades an, und nennt diesen Kreis den Theilriß, o t ist die Dicke des Zahns und t n der Zwischenraum. Die Linie i s bezeichnet den Abstand eines Zahnes von dem andern und heißt die Schrift oder Theilung i s = o t + t n.

Man macht die Zahndicke und den Zwischenraum nicht völlig gleich groß, sondern theilt die Theilung in sieben Theile, rechnet etwa 3/7 auf die Dicke des Zahnes und 4/7 auf den leeren Abstand. Die Theilung der Getriebe muß genau gleich groß seyn; man macht hingegen die Zähne des Getriebes (die öfter herum kommen und sich mehr abschleifen) etwas dicker als 3/7. Immerhin ergibt sich noch ein kleiner Spielraum, so daß sich die Zähne nicht einklemmen.

Es dürfen aber auch nicht einzelne Zähne zu dünn oder die Zwischenräume zu groß seyn. Denn haben zwei Zähne einander verlassen, ehe die folgenden bereits aufeinander drücken, so werden

diese gegen einander stoßen und dadurch eine Erschütterung bewirken. Es hat also nur dann eine sanfte und geräuschlose Bewegung Statt, wenn die Zähne ohne alle Unterbrechung sich ablösen und gegenseitig ineinander greifen.

Da die Dicke der Zähne die Theilung bestimmt, so ergibt sich bei gegebener Dicke aus dem Durchmesser (oder Umfange) des Rades die Anzahl Zähne, die es haben kann, sowie aus dieser der Durchmesser des Rades.

Beträgt die Theilung = 5″, so muß für 76 Zähne z. B. der Theilriß = 5 × 76 = 380″ seyn, und der Radius also $= \frac{380}{6,28} = 60\frac{1}{2}''$.

Bei einem Durchmesser von 12′ = 144″ wäre der Umfang = 3,14 × 144 = 452″ und der Zähne könnten (bei einer Schrift = 5″) $\frac{452}{5}$ oder 90 — 91 seyn.

§. 559. Da ferner bei solchen Rädern die Fortpflanzung der Bewegung nicht durch die Reibung, sondern durch den Druck der Zähne aufeinander bewirkt wird, so muß man vielmehr suchen, die zugleich sich ergebende Reibung so viel wie möglich zu vermindern.

Offenbar nun wäre die Reibung sehr bedeutend, wenn die Zähne die Gestalt rechtwinklicher Tangenten hätten. Die scharfe Kante des angreifenden Zahns würde nämlich wie bei Hebelatten (491) an der untern Fläche des andern Zahns wegrutschen müssen, und so sich eine starke Reibung ergeben. Diese Reibung würde hingegen so viel als ganz wegfallen, wenn die Angriffspunkte beider Zähne in dem Maaße sich änderten, als die Zähne weichen.

Damit nun die Räder bei ihrem Ineinandergreifen möglichst wenige Reibung hervorbringen, muß man 3) den Zähnen eine gekrümmte Gestalt geben, so jedoch, daß die Enden derselben nicht zu schwach werden. Die praktische Mechanik lehrt verschiedene Verfahren, um leicht eine angemessene Krümmung (besonders für Zähne größerer Räderwerke) zu verzeichnen. Der

Theorie nach ist die vortheilhafteste Gestalt in einigen Fällen die epicycloidische, in andern die cycloidische.

Rollt ein Rad A (Fig. 136) auf einer ebenen Fläche ni, so beschreibt ein Punkt a, während das Rad einmal umgeht, eine krumme Linie abcd, und diese eigenthümliche Linie heißt eine Cycloide. Es ist hiebei die gerade Linie ad gleich dem Umfange des Rades.

Eine andere krumme Linie entsteht, wenn ein Rad A (Fig. 137) über den Umfang eines zweiten Rades B fortrollt. Ein Punkt a beschreibt dann, bis A einmal umgegangen oder bis der Bogen af gleich ist dem Umfange von A, die krumme abcdf, und diese krumme Linie heißt eine Epicycloide.

Um nun (theoretisch) die Krümmung zu finden, nach der z. B. die Zähne eines Sternrades abgerundet seyn sollten, das in einen Trilling eingreift und diesen treibt, sucht man die Epicycloide, die entsteht, wenn das kleinere Rad = A über das grössere = B wegrollt. Der Zahn wird dann richtig gekrümmt seyn, wenn derselbe nach den Linien ab und fe abgerundet ist, und die Spitze weggenommen wird, bis er die gehörige Höhe $\left(\frac{4\frac{1}{2}}{7}\right.$ der Theilung) hat. *)

Es ist endlich klar, daß 4) jedes Rad genau um seinen Mittelpunkt sich drehen muß; daß, wenn es groß und schwer ist, die Zapfen, um die sich die Welle dreht, einen bedeutenden Druck auf die Zapfenlager ausüben, und daß dieser Druck sich auf beide Lager im umgekehrten Verhältnisse ihrer Distanz vom Rade vertheilt; **) daß, und besonders, wenn die Kraft wie bei

*) Die Gestalt ist verschieden, je nachdem Zähne mit Zähnen, Zähne mit runden Stöcken oder in gezahnte Stangen eingreifen 2c. Eine nähere Erörterung würde aber hier zu weit führen.

**) Der Druck auf die Zapfenlager verursacht natürlich ein bedeutendes Hinderniß, und muß so viel möglich vermindert werden. Dieser Druck entsteht aber nicht bloß durch das Gewicht des Rades (das also nicht unnöthig schwer seyn soll), sondern auch durch die auf das Rad wirkenden Kräfte, und diese leztere sind je nach der Stellung des Getriebes sehr verschieden. Treibt das Rad A (Fig. 138) das Getriebe B, so wirkt die Last p so, daß der Zahn des

Wasserrädern am Umfange wirkt, sie die Welle zu verdrehen strebt (§. 281), und daß diese hiemit eine gehörige Stärke haben muß, daß ferner jedes Rad, zumal wenn es groß und schwer ist und sich schnell bewegt, als Schwungrad wirken muß u. s. w.

§. 560. Aus alle dem geht hervor, daß die Construction von Räderwerken viele Einsicht und Sorgfalt erfordert.

Die kleinsten gezähnten Räder verfertigt man aus Messing, größere aus Holz, Messing oder Gußeisen, die größten werden aus Holz oder Gußeisen und aus mehreren Stücken zusammengesezt. Bei den großen Rädern von Holz wird jeder Zahn einzeln in den Radkranz eingefugt. Auf gleiche Weise gibt man oft gußeisernen Rädern Zähne von Holz. Laufen solche Räder mit eisernen Getrieben, so erhält man, da die Nachgiebigkeit des Holzes eine baldige Abschleifung der kleinen Ungleichheiten zuläßt, in der Regel eine sanftere Bewegung. Kleinere Räder von Metall (namentlich messingene) werden voll gegossen, und darauf erst die Zähne eingeschnitten. Ebenso verfertigt man kleinere hölzerne Räder aus runden Scheiben.

Das Einschneiden geschieht schnell vermittelst einer Art Cirkularsäge, und die gehörige Eintheilung ohne Abmessen mit Hülfe der sogenannten Theilmaschine. Man steckt nämlich das Rad an eine Spindel, die durch eine Scheibe geht, welche eine Menge verschiedentlich eingetheilter concentrischer Kreise enthält. Mit Hülfe dieser Scheibe wird es leicht, soll z. B. das Rad 66 Zähne erhalten, die Scheibe und hiemit auch das Rad nach jedem Schnitte um $1/_{66}$ des Umfangs umzudrehen. *) Auf ähnliche Weise verfertigt man gefurchte Cylinder, die eine bestimmte

---

Getriebes einen Theil der Kraft P hebt, so daß nicht der ganze Druck von P auf dem Zapfen von A lastet. Treibt A hingegen das Getriebe C, so wirkt der Zahn dieses Getriebes so, daß auf jenem Zapfen A ausser P noch der Druck q lastet. Die erstere Stellung ist daher viel vortheilhafter. Die Zapfenreibung vermindert man übrigens durch Einschmieren.

*) Statt der Theilscheibe kann man ein bereits die verlangte Anzahl Zähne habendes Rad gebrauchen. (Fig. 231.)

Anzahl gleich weit von einander abstehender Furchen erhalten sollen. (597.)

Kegel- oder Winkelräder werden bloß aus Metall gefertigt. Statt der eigentlichen Drillinge wendet man oft eine Welle an, an deren Umfang die Triebstöcke eingeschnitten sind. Eine solche Welle heißt ein Kumpf. Da die Bewegung sanfter ist, wenn die Räder viele Zähne haben, so gibt man auch den Drillingen und Getrieben wenigstens 6 bis 8 Stöcke oder Zähne.

§. 561. Durch zwei Zahnräder ist es hiemit leicht, die Bewegung einer Welle auf eine andere und zwar mit beliebiger Abänderung der Geschwindigkeit zu übertragen.

Soll z. B. (Fig. 134) die Welle b 56 Umgänge machen, während die Welle a ihrer 11 macht, so darf man nur dem Rade A 56 und dem Getriebe B 11 Zähne geben.

Ebenso wird man aber durch die Welle b wieder eine dritte c und durch diese eine vierte d u. s. w. umtreiben können, wenn man auch diese wieder mittelst ineinandergreifender Räder verbindet. (Fig. 134.)

Hat A fünfmal soviel Zähne als B,
B′ viermal „ „ „ C,
C′ „ „ „ „ D,
so geht D oder d 5 × 4 × 4 oder achtzigmal schneller um, als A oder a.

Ueberhaupt wird sich das Geschwindigkeits-Verhältniß der lezten Welle zur ersten finden lassen, wenn man das Produkt der Zahnzahlen der Räder durch das Produkt der Zahnzahlen der Getriebe dividirt.

Hätte A 52, B′ 49 und C′ 97 Z.,
und B 7, C 9 und D 12 Z.,
so wäre die Geschwindigkeit von D oder d
$\frac{52 \times 49 \times 97}{7 \times 9 \times 12} = \frac{249156}{756}$ oder 327mal größer als die von A oder a.

Man nennt eine solche Verdopplung der Räder und Getriebe ein **Vorgelege**.

§. 562. Vermittelst dergleichen Vorgelege kann man eine beliebige Vermehrung der Geschwindigkeit erreichen, ohne Räder mit übermäßig vielen oder Getriebe mit allzuwenigen Zähnen anwenden zu müssen.

Sollte z. B. eine Welle hundertmal geschwinder als eine andere umgeben, so würde ohne Vorgelege das Rad an dieser hundertmal mehr Zähne als das Getriebe an der andern erhalten müssen, und gäbe man diesem auch nur 6 Zähne, so kämen auf das Rad ihrer 600.

Wendet man hingegen ein Vorgelege oder 2 Räder und 2 Getriebe an, so brauchen jene nur 60 Zähne zu erhalten, wenn auch hier die Getriebe nur 6 Zähne haben, und alle 4 Räder hätten hiemit nur 2 × 60 + 2 × 6 oder 132 Zähne.

Ebenso wird man 3 Räder und 3 Getriebe anwenden können, wovon 2 Räder fünfmal und 1 nur viermal mehr Zähne haben als die Getriebe. Dann hätten die 3 Räder nur 30 + 30 + 24 oder 84 und die 3 Getriebe nur 18 Zähne oder alle nur 102 Zähne, und man sieht also, daß man in diesem Falle vortheilhaftere Getriebe mit 10 oder 12 Zähnen anwenden könnte, ohne daß die Räder zu groß würden.

§. 563. Der Transmission der Bewegung durch einfache Räder steht oft die zu große **Entfernung** beider Wellen im Wege.

Wäre z. B. der Abstand von a und b (Fig. 135) 5′, und müßte b viermal schneller als a gehen, so würde ein Rad an der Welle a einen Durchmesser von 8′ und das Getriebe an b einen Durchmesser von 2′ haben müssen, und erforderte die Kraft eine Theilung von wenigstens 2″, so würde das Getriebe B (das einen Umfang von circa 80″ hätte) 39 bis 40 und das Rad A an 160 Zähne fassen.

Dieser Uebelstand läßt sich aber einigermaßen beseitigen, wenn man A und B vermittelst eines **Zwischenrades** C verbindet. *)

Gesezt nämlich, der Durchmesser von C sey $= 3\frac{3}{4}'$, so braucht der Radius von A nur $= 1'$ und der von B nur $= \frac{1}{4}'$ zu seyn, damit alle 3 Räder ineinander greifen, und B doch viermal schneller gehe als A, da C offenbar keinen Einfluß auf das Geschwindigkeits-Verhältniß ausübt. In diesem Falle werden aber nicht nur A und B viermal kleiner seyn, und also jenes nur 40, dieses nur 10 Zähne brauchen, sondern es werden auch überhaupt weit weniger Zähne nöthig. Denn das Zwischenrad erheischt, da die Theilung dieselbe seyn muß, $3\frac{3}{4} \times \frac{22}{7} \times 6$ oder 71 Zähne, und auf alle drei Räder kommen also nur $71 + 40 + 10 = 121$ Zähne, während obige zwei Räder $160 + 40$ oder 200 Zähne hatten.

Sowie eines einzigen Zwischenrades, so kann man sich auch zweier oder mehrerer (desto kleinerer) bedienen, wenn die Entfernung der Wellen bedeutend ist.

§. 564. Insbesondere eignen sich aber **doppelte Winkelräder** zu einer solchen Uebertragung der Bewegung an eine auch sehr beträchtlich entfernte Welle, so daß also auch in diesem Falle die Transmission durch verzahnte Räder statt durch Seilräder bewirkt werden kann.

Gesezt z. B., die Bewegung soll von A an B übertragen werden, so wird dies, wie die Fig. 139 zeigt, durch die Winkelräder a, b und c, d erlangt, und es wird auch hier ein beliebiges Geschwindigkeits-Verhältniß herzustellen seyn, wenn die Zahnzahlen so gegeben werden, daß $a \times c : b \times d$ in dem verlangten Verhältnisse stehen.

*) Ein solches kommt z. B. bei der Bohrmaschine Fig. 260 vor. Mittelst der Kurbel A wird das Zahnrad a gedreht, und die Bewegung durch das Zwischenrad b auf c übertragen. Der Bohrer d dreht sich um so geschwinder, je weniger Zähne c als a hat.

§. 565. Von dem vielfachen Gebrauche der gezahnten Räderwerke werden in der Folge noch manche Beispiele vorkommen; hier daher nur einige:

Soll ein Wasserrad, das fünfmal per Minute umläuft, 4 oder 6 Mühlsteine (Laufer) umtreiben, so daß sie 90 — 92 Umgänge per Minute machen, so kann dies auf folgende Weise ausgeführt werden (Fig. 140): Die Welle des Wasserrades a treibt durch die Winkelräder b und c ein großes Stirnrad d um, in dessen Zähne die 4 oder 6 Getriebe e eingreifen, deren Spindel die Läufer f tragen. Hat nun b 40 und c 21 Zähne, und ferner d 130 und e 13 Zähne, so wird e und hiemit f in 1 Minute $\frac{40 \times 130 \times 5}{21 \times 13}$ oder an $91\frac{2}{3}$ Umgänge machen.

Es ist leicht zu erkennen, wie sich jede Ziffer bestimmen läßt, wenn die übrigen gegeben sind.

Man sieht aus diesem Beispiele auch, daß dasselbe Rad mehrere Getriebe (oder Drillinge) umtreiben kann, und geschieht dies, so ist die Last, die das Rad zu überwinden hat, gleichförmiger vertheilt, wenn die Getriebe einander gegenüber gestellt werden.

§. 566. Bei allen Uhrwerken erhält das Steigrad durch das Pendel oder die Unruhe eine bestimmte Geschwindigkeit. Es macht z. B., wenn das Pendel p (Fig. 148) $9\frac{1}{4}''$ lang ist, 2 Umgänge per Minute. Soll nun ein Minutenzeiger einmal in einer Stunde umgehen, so muß seine Welle 120mal langsamer sich drehen. Dieses Verhältniß ergibt sich, wenn an der Welle des Steigrades A ein Getriebe a von 6 Zähnen in ein Rad B von 60 Zähnen, und ein zweites Getriebe b von 6 Zähnen in ein Rad C von 72 Zähnen greift, und die Welle von C den Minutenzeiger m trägt. Denn C geht nun $\frac{72 \times 60}{6 \times 6} = 120$mal langsamer um als A.

Soll diese Minutenuhr anhaltend gehen, so muß ein Gewicht (oder eine Feder) angebracht seyn, wodurch alle Hindernisse der Bewegung überwunden werden. (501) Hinge man

dieses Gewicht über eine Rolle an die Welle C, so würde diese Rolle in jeder Stunde einmal sich drehen, und das Gewicht also nach wenig Stunden den Boden erreichen. Man sezt daher diese Rolle W an eine vierte Welle, die vier= oder fünfmal langsamer noch als C umgeht, indem das Rad D vier= oder fünfmal mehr Zähne als c hat.

Jede Stundenuhr erfordert noch einen zweiten Zeiger, der in 12 Stunden einmal herumkommt, und zwar sollen gewöhnlich beide Zeiger um denselben Mittelpunkt sich bewegen. Man erreicht dies durch folgende Einrichtung, die man das Weiserwerk nennt. An der Welle des Minutenzeigers n (Fig. 149) bringt man ein Getriebe o an, das in das viermal größere Rad x greift, und an dessen Welle ein Getriebe y, das in ein dreimal größeres Rad z greift; z aber steckt an einer hohlen Welle, durch welche die erste des Minutenzeigers geht. Auf diese Weise drehen sich beide Zeiger m und s um dieselbe Axe, aber frei, und s zwölfmal langsamer als m.

§. 567. Wie mittelst derselben Spindel mannichfache Geschwindigkeits=Verhältnisse hergestellt werden mögen, ist insbesondere auch aus der Einrichtung eines Planetariums ersichtlich.

Man versteht darunter eine mechanische Vorrichtung, welche die relative Bewegung der Planeten um die Sonne versinnlicht.

Auch hier wendet man, wie zur Bewegung des Stunden= und Minutenzeigers an einer Uhr, concentrische und ineinander steckende Röhren an, wovon jede in derselben Zeit eine bestimmte Anzahl Umgänge machen muß.

Die Erde geht in $365\frac{1}{4}$ Tagen oder in einem Jahr um die Sonne, Merkur in 88 T., Venus in 225 T., Mars in 686 T., Jupiter in 4331 T. u. s. w.

Steckt man also (Fig. 150) Röhren m, v, e, M und J in einander, so daß die hervorragenden Enden 2 Kegel bilden, und versieht man diese mit Drähten, welche die Kugeln m, v, e, M und J tragen, so werden diese sich wie die 5 ersten Planeten um S, die Sonne, drehen, wenn die unteren Theile mit einem angemessenen Räderwerk in obigem Verhältnisse gedreht werden.

Diese relative Geschwindigkeit kann mit ziemlicher Genauigkeit schon auf folgende Weise erhalten werden:

Der Röhre m gibt man ein Rad von 20 Zähnen, und läßt es in eines von 83 eingreifen, das an der Axe pq steckt, und durch ein Getriebe r mit der Kurbel s gedreht wird.

Der Röhre	v	ein Rad von	32 Z.	und dem 2.	Rade	52 Z.
"	e	"	50	"	"	50 Z.
"	M	"	53	"	"	25 Z.
"	J	"	83	"	"	7 Z.

Alle an der Axe pq sitzenden Räder gehen in der gleichen Zeit einmal um, und bezeichnet diese 1 Jahr, so macht die Röhre e, da beide Räder gleich viel Zähne haben, ebenfalls in dieser Zeit 1 Umgang, hiemit auch die Kugel e, welche die Erde vorstellt.

In derselben Zeit macht aber m $^{83}/_{20}$ Umgänge, und 1 Umgang also in $^{20}/_{83}$ J. $^{20}/_{83} \times 365^1/_4 = 88$ (beinahe).

Die Umlaufszeit von m, welche der Merkur vorstellt, wird also in ziemlich richtigem Verhältniß zu der der Erde stehen.

Ebenso wird die der Venus $v = {}^{32}/_{52} \times 365^1/_4$ oder 225 seyn, die des Mars $M = {}^{53}/_{35} \times 365^1/_4 =$ und die des Jupiter $J = {}^{83}/_7 \times 365^1/_4 = 4331$.

Auf gleiche Weise läßt sich ein vollständiges Planetarium herstellen. Nur wird man für die Bewegungen von Saturn und Uranus, da jener in 30, dieser in 81 J. umlauft, Zwischenräder anwenden müssen.

§. 568. Gewöhnlich bleiben die Räder eines Räderwerkes fortwährend in der gleichen Lage zu einander. Die Räder drehen sich immer um denselben Punkt, und ihre Wellen oder Spindeln in fixen Zapfenlöchern. Zuweilen sind indessen Verrückungen nöthig.

Der Mühlstein f z. B. (Fig. 140) steht nicht immer auf derselben Höhe. Indem er durch Abreiben dünner wird, senkt er sich allmählig. Es senkt sich also auch die Spindel, an der er befestigt ist, und das Getriebe e, so daß es nicht mehr von den Zähnen d ergriffen würde.

In ähnlichen Fällen wendet man entweder 1) statt eines Zahngetriebes einen Drilling mit langen Triebstöcken an (Fig. 38, o) oder man bedient sich 2) eines gefurchten Cylinders t

(Fig. 143), in dessen Furchen Zähne die des Rades wie in Zähne eingreifen, weil alsdann die Verbindung nicht aufgehoben wird, wenn gleich dieses Getriebe t etwas sinkt oder steigt (s. auch b Fig. 266) oder aber man wendet 3) ein an seiner Axe verschiebbares Rad oder Getriebe an (s. Fig. 224).

§. 569. Oefters muß ferner das Geschwindigkeits-Verhältniß mehr oder weniger abgeändert werden können. Offenbar wird dies schon durch die Veränderung eines einzigen Rades zu erreichen seyn. Das Räderwerk wird daher so eingerichtet, daß irgend ein Rad nach Gutfinden durch ein anderes von mehr oder weniger Zähnen ersezt werden kann. Solche zum Austauschen bestimmte Räder heißen Wechselräder.

Gesetzt (Fig. 141), a habe 60, b 15, c 50 und d 13 Zähne, so ist das Geschwindigkeits-Verhältniß

wie $60 \times 50 : 15 \times 13$ oder wie $3000 : 195$.

Durch ein Auswechseln des Getriebes b wird man nun leicht eine größere oder kleinere Geschwindigkeit erlangen können. Denn nimmt man b von 14 Zähnen, so ist das Verhältniß wie $60 \times 50 : 14 \times 13 = 3000 : 182$, und hat b 16 Zähne, so ist es wie $60 \times 50 : 16 \times 13 = 3000 : 208$ u. s. w.

Wenn jedoch ein solches Auswechseln Statt haben soll, so muß offenbar auch die Axe des Wechselrades eine geringe Verschiebung gestatten.

§. 570. Oft endlich ist auch bei Räderwerken nöthig, daß sich die Transmission der Bewegung von einem Rad auf die übrigen nach Gutfinden unterbrechen oder abstellen lasse, ohne daß der Gang des ersteren gestört werde.

Diesen Zweck erlangt man, indem man 1) die Einrichtung trifft, daß das Getriebe von dem Triebrad entfernt werden kann, oder indem man 2) einen Mechanismus anbringt, durch den sich nach Gutfinden die feste Verbindung des Getriebes mit seiner Welle aufheben und wieder herstellen läßt.

Sezt das Rad a (Fig. 142) das Rad b in Bewegung, so wird a sich fortdrehen können, ohne b mitzunehmen, wenn man

die Stange xy, auf der b ruht, so weit erhebt, daß die Zähne nicht mehr ineinander greifen.

Ebenso wird das Rad a (Fig. 144) das Rad b zwar umtreiben, die Welle c aber nicht umgehen, wenn b an derselben nur lose angesteckt ist. Bringt man daher einen verschiebbaren Muff d an, der sich (mittelst eines Hebels e) in das Rad b einrücken läßt, so kann man nach Gutfinden die Welle durch b drehen machen oder nicht, und auf dieselbe Weise kann auch die Bewegung eines Seilrades willkürlich angelassen oder abgestellt werden, wiewohl man sich bei solchen gewöhnlich zweier Rollen (Fig. 123) bedient.

Dieses Princip läßt sich auf mancherlei Weise anwenden:

Trägt die Welle A (Fig. 145) 2 Räder a und b (a von 60 und b von 55 Zähnen) und die Welle B 2 andere p und q (p mit 20 und q mit 25 Zähnen), so werden nur dann beide sich drehen können, wenn leztere an B lose stecken. Und dann wird, während a und b einmal umgeht, p $^{60}/_{20}$ oder dreimal umgehen, und q $^{55}/_{25}$ oder $2^{1}/_{5}$mal, die Welle B wird hingegen nicht bewegt werden. Ist aber zwischen p und q ein Muff n angebracht, der zu beiden Seiten Klauen hat, so daß, je nachdem der Hebel o verschoben wird, der Muff entweder in p und q eingreift, so wird die Welle nach Gutfinden in Bewegung gesezt, und zwar derselben eine größere oder kleinere Geschwindigkeit ertheilt werden können. Diese Vorrichtung leistet hiemit für Räderwerke, was die konischen Rollen bei Seiltrieben leisten und mit denen eine verschiedene Geschwindigkeit erhalten werden kann. (Fig. 118.) Namentlich kommen dergleichen (mit 2 oder 3 Räderpaaren) bei Walzen-Druckmaschinen, Drehstühlen 2c. vor.

§. 571. So nützlich nun aber sehr oft solche Vorrichtungen sind, so ist doch nicht zu übersehen, daß sie dem Räderwerke leicht Schaden bringen können, und desto stärkere Zähne nöthig machen. Denn da jedes sich bewegende Rad seine Bewegung der Trägheit zufolge schon fortzusetzen strebt, so erfordert es, zumal bei einer schnellen Bewegung, eine beträchtliche Kraft, um plötzlich ein Stillestehen zu bewirken, und ebenso wird eine weit größere Kraft erfordert, um einem ruhenden Rade plötzlich eine

schnelle Bewegung zu ertheilen, als aber, um es bloß im Gange zu erhalten. Bei jeder Ein- und Ausrückung ergibt sich daher immer eine gewisse Erschütterung, und leicht brechen Zähne, wenn sie nicht besonders stark sind. Wo keine möglichst augenblickliche Wirkung verlangt wird, sind daher auch andere Abstellungen und namentlich solche, die auf einer Vermehrung oder Verminderung der Reibung beruhen, wie die Bremswerke (§. 513), vorzuziehen.

Verzahnte Bogen und Stangen.

§. 572. Nicht nur ganze Räder, sondern auch bloße Kreisbogen, sowie gerade Stangen werden oft verzahnt und untereinander, sowie mit Getrieben ꝛc. auf vielerlei Weise in Verbindung gebracht. Zähne sind nämlich künstliche oder absichtlich angebrachte Erhabenheiten, und so oft also die Bewegung von einem Maschinentheile auf einen andern durch den Contakt oder die dabei stattfindende Reibung übertragen werden soll, muß eine solche Verzahnung der Berührungsflächen dieselbe sicherer machen. Auch in diesen Fällen werden aber die Zähne eine eigenthümliche Gestalt haben müssen, wenn sie sich selbst mit möglichst weniger Reibung fortschieben sollen.

Greift ein Getriebe a (Fig. 41) in eine Zahnstange bc, so wird diese und zwar geradlinig, so weit diese Verzahnung reicht, verschoben, wenn a umgebt oder mittelst der Kurbel k gedreht wird. Diese Vorrichtung wird daher häufig angewendet, um eine Stange ihrer Länge nach hin und her zu bewegen. So kommt sie bei Lampen vor, um den Docht höher oder niedriger zu stellen, bei manchen Zirkeln, um die Schenkel beliebig zu entfernen u. s. w. Vermittelst einer langen verzahnten Stange unter dem Wagen der Sägemühlen wird der Baumstock immer nachgerückt. Zuweilen werden (wie bei Fig. 296) 2 Zahnstangen durch dasselbe Getriebe verschoben. Dergleichen kommen z. B. in Schlössern, an Fensterriegeln ꝛc. vor. Auf eine sinnreiche Weise wird die Zahnstange bei gewissen Uhren angewendet, wo

die Uhr selbst, indem sie allmählig längs dieser Stange herabgleitet, als Gewicht wirkt.

Zuweilen ist umgekehrt die Zahnstange der bewegende Theil. So kommt sie in neueren Bandstühlen vor. Eine sogenannte Sägestange xy (Fig. 151) wird bei jedem Schusse abwechselnd hin- und hergeschoben, und dadurch kommen kleine Getriebe o in Bewegung, die wieder in ähnliche Stangen greifen, welche an den einzelnen Schützen angebracht sind, so daß auch diese bald rechts, bald links gezogen werden. So kann mittelst einer Zahnstange die hydromechanische Presse Räder treiben. (S. pol. Journ. B. 20, S. 304.)

§. 573. Soll die Stange nur mäßige Bewegungen machen, so reicht ein bloßer verzahnter Bogen hin.

Ein ähnlicher Bogen am Ende eines Hebels (Fig. 152) kann statt der Fig. 73 angegebenen Vorrichtung dienen, um eine Pumpstange in senkrechter Linie zu bewegen.

Fig. 153 zeigt, wie zusammengesezte Hebel durch verzahnte Bogen aufeinander wirken. Bei dieser Einrichtung können die Hebel einen ungleich größeren Weg durchlaufen, ohne sich zu verlassen, als wenn sich bloß die Enden zweier Hebelstangen berührten (wie Fig. 86).

§. 574. Man kann jedoch auch mittelst eines stetig in derselben Richtung umgehenden Getriebes eine hin- und hergehende Bewegung erzeugen, wenn das Getriebe nur partiell verzahnt ist.

So wird das nur zur Hälfte verzahnte Getriebe a (Fig. 154), wenn es gleichförmig umgeht, bei jedem Umgange die Stange b zwar herabdrücken, dem Gewichte p aber gestatten, sie nachher wieder in die Höhe zu ziehen.

Ebenso wird bei jedem Umgange des Getriebes c (Fig. 158) die Stange d zweimal gehoben werden, und jedesmal wieder zurückfallen können.

Eine andere ähnliche Vorrichtung zeigt die Fig. 155, wo ein zur Hälfte verzahntes Getriebe auf 2 Zahnstangen wirkt. Die hin- und hergehende Bewegung wird um so gleichförmiger seyn, wenn a in demselben Augenblicke bei b eingreift, wo y die andere Stange bei z verläßt, und umgekehrt.

Klar ist ferner aus der Figur (157), daß der Wendelbaum a sich abwechselnd rechts und links drehen muß, wenn der Drilling b beständig nach derselben Richtung umläuft, und umgekehrt, daß b sich alternative drehen muß, wenn a immer nach der gleichen Richtung umgeht.

§. 575. Wird das Getriebe, das in die Zahnstange greift, mit einer Kurbel umgedreht, wie Fig. 41, so kann zugleich bedeutend an Kraft gewonnen werden.

So bestehen die einfachsten Wagenwinden aus einem starken Gehäuse (Fig. 159), das eine Zahnstange ab und ein kleines Getriebe c enthält, welches von außen mittelst einer Kurbel k umgedreht wird. Um eine größere Kraft zu erlangen, wendet man aber gewöhnlich 2 Getriebe an (Fig. 160). Hat e viermal mehr Zähne als d, und ist die Kurbel k achtmal länger als der Halbmesser c, so muß die Hand an der Kurbel einen Weg von 32″ machen, damit die Zahnstange ab um 1″ steigt, und es würde daher auch das 32fache an Kraft gewonnen, wenn die Reibungen nicht bedeutend wären. Immerhin wird es leicht seyn, eine solche Winde so einzurichten, daß ein Fuhrmann allein mittelst derselben eine Radachse in die Höhe zu winden im Stande ist, zumal die Anstrengung nicht lange dauert. Da indessen die Stange den Druck der ganzen Last erleidet, so müssen die Zähne und überhaupt das ganze Werkzeug sehr stark seyn. Um das Rückwärtsgehen zu hindern, ist an der Spindel von c oder d zugleich ein Sperrrad angebracht.

Ein Getriebe r (Fig. 156), das in 2 Zahnstangen y und z eingreift und mit Hülfe des Hebels ab hin- und hergedreht wird, wendet man gewöhnlich an, um wechselsweise z. B. die beiden Stempel einer Luftpumpe auf- und abwärts zu bewegen.

Sechster Abschnitt.

Von den Häspeln und Winden.

§. 576. Unter Häspeln und Winden versteht man wellradartige Maschinen, welche entweder dazu dienen, mit Ersparung an Kraft Lasten zu bewegen, indem man ein Seil, an dem sie befestigt sind, auf eine Welle aufwindet, oder aber dazu, allerlei Fäden ꝛc. mit größerer Geschwindigkeit auf ein Rad aufzuwickeln.

Wir reden zunächst von der ersten Gattung dieser Maschinen.

Häspel nennt man gewöhnlich diejenigen, bei welchen die Welle horizontal liegt, und Winden die, bei denen die Welle senkrecht steht. Von beiden gibt es indessen mehrere Arten.

Hornhaspel heißt ein Haspel, dessen Welle a durch eine Kurbel b umgedreht wird, wie Fig. 161.

Beim Kreuzhaspel (Fig. 163) wird der Wellbaum a mittelst kreuzweise dadurch gesteckter Hebel b herumbewegt.

Der Radhaspel (Fig. 162) wird gedreht, indem man an Stäben c arbeitet, die senkrecht am Umfange eines Radkranzes angebracht sind.

Zuweilen wird der Kranz des Rades mit Stäben, die senkrecht durch denselben gesteckt sind, versehen. Dann heißt die Maschine ein Spillenrad. (Fig. 164.)

Beim Laufrade (Fig. 165) wird die Welle gedreht, indem die Menschen oder Thiere auf dem innern Umfange des Rades hinansteigen.

Beim Tretrade (Fig. 167) setzen Menschen oder Thiere dasselbe in Bewegung, indem sie auf den äussern Rand auftreten. Unter einer Tretscheibe versteht man gewöhnlich ein schiefes Tretrad (Fig. 166) mit schief stehender Welle.

Die gemeine Winde (Fig. 168) besteht aus einer senkrechter Welle cd, durch welche zwei oder mehrere Hebelstangen ab gesteckt sind, an denen Menschen arbeiten. Soll eine Last gehoben werden, so geht das Zugseil über eine fixe Rolle e. Eine ähnliche Einrichtung hat die Erdwinde Fig. 169.

Große Winden werden oft durch Thiere umgetrieben, und solche heißen dann Göpel. (Fig. 171.) Das Seil wird gewöhnlich auf einem Korbe t aufgewunden. An der Deichsel n wird das Pferd angespannt.

§. 577. Alle diese Maschinen beruhen im Wesentlichen auf denselben Prinzipien.

Die Kraft wirkt als griffe sie am Umfange eines Rades an. Sie hat einen um so größern Weg zu durchlaufen, je weiter sie von der Axe der Welle entfernt ist, und sie kann daher um so kleiner seyn als die Last, je kleiner bei gleicher Entfernung der Halbmesser der Welle ist. Man gewinnt also (theoretisch) an Kraft im Verhältniß jener Entfernung zum Halbmesser der Welle. Da indessen das Seil, das aufgewunden wird, einen Kreis bildet, der etwas größer ist als der Umfang der Welle, so muß die halbe Seildicke zu jenem Halbmesser hinzugerechnet werden. Als Hinderniß kommt ausser der Reibung, namentlich an den Zapfenlagern, noch die Steifigkeit der Seile, die gebogen werden müssen, in Betracht, und dieses Hinderniß wird um so größer seyn, je dicker und steifer das Seil und je dünner die Welle ist. Oft wird aber auch das Gewicht des Seiles (oder der Kette) als Nebenlast zu berücksichtigen seyn. Um endlich bei dieser Maschine den größtmöglichen Effekt zu erlangen, wird

darauf zu sehen seyn, daß die Kraft auf die vortheilhafteste Weise, und besonders mit der angemessensten Geschwindigkeit (459) wirke.

§. 578. Der Hornhaspel (Fig. 161) kann nur zum Heben von Lasten, die nicht sehr groß sind, angewendet werden, denn die Kurbel darf, damit sie der menschliche Arm bequem drehen kann, nicht über 12 — 14″ lang seyn; und beträgt der halbe Durchmesser der Welle (nebst Seil) $2\frac{1}{2}$ — 3″, so wird nur das 5fache an Kraft gewonnen. Die Bewegung ist dabei zwar eine stetige, die Kraft jedoch wirkt veränderlich, und die Leistung ist deßhalb geringer. (§. 487.)

Man rechnet, daß ein Mann eine Kurbel von 13″ oder $7\frac{1}{3}$′ Umfang 22mal in 1 Min. umdreht, und daß seine Hand also in einer Sek. einen Weg von etwa $2\frac{3}{4}$′ macht, ferner, daß die Kraft, die er alsdann auf die Kurbel auszuüben vermag = 22 Pf. ist, und daß der Effekt hiemit = $2\frac{3}{4} \times 22$ oder = 60 Pf. ist. Gewinnt man das Fünffache an Kraft, so kann demnach die Last 5×22 oder 110 Pf. betragen, und diese wird in 5 Sek. um $2\frac{3}{4}$′ steigen oder in 1 Min. um 33′.

In 8 Stunden würde also 1 Mann bei ganz ununterbrochener Arbeit $8 \times 60 \times 110 = 52800$ Pf. 33′ hoch, oder 174 Ztr. 100′ hoch heben können. *)

Das Doppelte läßt sich leisten, wenn auf beiden Seiten eine Kurbel ist, und die Wirkung wird überdies gleichförmiger, wenn sie einen rechten Winkel miteinander bilden (§. 489). Es mögen auch wohl mehrere Männer an einem Haspel arbeiten, wenn die Kurbeln knieförmig gebogen sind; immerhin wird die Last nicht sehr groß seyn können.

§. 579. Beim Kreuzhaspel (Fig. 163) kann weit mehr an Kraft gewonnen werden, denn die Hebel können weit länger

*) In der Wirklichkeit wird ein bedeutend geringerer Effekt anzunehmen seyn. Setzen wir ihn aber nur zu 120 Ztr. 100′ hoch oder zu 18,000 Kil. 10 Met. hoch, so ist er mehr als dreimal größer als der eines Mannes, der eine Last in die Höhe trägt (454), und der also zugleich den eigenen Körper erheben muß.

als die Kurbel seyn. Der Arbeiter muß nur von einem Ende zum andern langen können. Und dasselbe gilt vom Radhaspel Fig. 162, dessen Spillen noch näher bei einander stehen. Bei beiden geschieht aber die Bewegung ruckweise und langsamer. Auch auf Frachtwägen bringt man öfters solche Haspel an, um mittelst der Kette, die man aufwindet, die Güter fest zusammen zu schnüren.

Das Spillenrad Fig. 164 gestattet dem Arbeiter, auf die Spillen auch mit den Füßen zu steigen, und so durch sein ganzes Gewicht am Umfange des Rades zu wirken. Der Effekt ist daher größer. Es läßt sich ein solches Rad jedoch nur langsam drehen, und wird daher nur zu Bewegungen von kurzer Dauer gebraucht.

§. 580. Im Laufrade (165) wirkt der Mensch oder das Thier zunächst bloß durch sein Gewicht; dennoch werden diese Räder nicht häufig angewendet.

1) Für's Erste nämlich ist der Vortheil, der sich daraus zu ergeben scheint, kein reeller. Denn tritt der Mensch z. B. bei a auf, so wirkt sein Gewicht in der senkrechten Richtung b a; der wirkliche Hebelarm der Kraft ist also b c, und die Kraft verhält sich zur Last, wie die Halbmesser der Welle c i : b c. Das Ansteigen im Rade erfordert aber ferner eine gewisse Anstrengung, denn offenbar muß der Mensch eine Art schiefer Fläche, und zwar bei jedem Schritte die Fläche n a ersteigen. Und diese Anstrengung oder die Kraft, die er dabei anwenden muß, verhält sich zum ganzen Gewichte seines Körpers, wie die Höhe der schiefen Fläche zur Länge oder wie a o : o n.

Es ist aber $ao : on = bc : ca$ und also $ao \times ca = on \times bc$, und daraus hiemit ersichtlich, daß die Momente der Kraft gleich groß sind. Der Mensch wirke mit der Kraft, die er verwenden muß, um seinen Körper zu erheben, d. h. mit a o am Umfange des Rades, d. h. an einem Hebelarme a c, oder aber mit seinem ganzen Gewichte oder o n am verkürzten Arme b c.

Der Gewinn, der bei Laufrädern daraus hervorgehen soll, daß der Mensch unmittelbar durch sein Gewicht das Rad treibt, ist hiemit ein scheinbarer; er würde durchaus ebensoviel leisten, wenn er mit derselben Kraft, die er beim Laufen verwendet, an einer Spille am Umfange des Rades oder an einer Stange arbeitete. Auch ist klar, daß er in dem Maße sich mehr anstrengen und steiler steigen muß, je größer b c werden soll.

Es verhält sich übrigens bc : ac immer wie der Sinus des Winkels x oder y zu 1.

§. 581. 2) Ferner aber ist klar, daß, damit die Steigung nicht zu steil werde und der Mensch oder das Thier ungehindert laufen kann, das Laufrad sehr hoch und breit seyn muß. Eines für Menschen muß wenigstens 15′ und eines für Pferde an 24′ im Durchmesser haben, und für einen Menschen 20″ und für ein Pferd 34″ breit seyn. Solche Räder nehmen daher vielen Raum ein, und sind kostspielig herzustellen und sehr schwer.

Damit man leichter steigen kann, werden auf der innern Seite Leisten angenagelt, und zwar etwa $1\frac{1}{2}'$ eine von der andern. Ein Rad von 15′ Durchmesser (47′ Umfang) erhält also 31 Leisten, und der Winkel x ist $= {}^{360}/_{31}$ oder $11\frac{1}{2}°$. Bei einem Rade von 24′ beträgt er kaum 8°.

3) Bei Laufrädern werden endlich insbesondere Vorrichtungen (Sperrräder oder Bremswerke) nöthig, um das Rückwärtslaufen des Rades zu verhindern, weil dieses dem darin gehenden Menschen oder Thiere leicht gefährlich wird.

§. 582. Dasselbe gilt im Wesentlichen vom Tretrade, an dessen äußerem Umfange stufenartige Bretter befestigt sind, die der Mensch, der das Rad umtreiben soll, heransteigt. Tritt er bei a (Fig. 167) auf und weicht die Trete bis o, so wirkt zwar sein ganzes Gewicht, doch nur auf den Hebelarm cn. Zugleich muß er aber um ab seinen Körper senkrecht erheben, und die dazu erforderliche Kraft verhält sich zu seinem Gewichte wie oa : ab. Auch hier ist nun ab : oa = cn : ca oder zum Halbmesser, und der Effekt hiemit derselbe, als wenn er mit

derselben Kraft, mit der er steigt, senkrecht am Umfange des Rades arbeitete. Nur können solche Räder einen weit kleineren Durchmesser haben und leicht so breit gemacht werden, daß viele Menschen zugleich auftreten können. So sind denn bekanntlich die neuen englischen Treträder in Strafhäusern eingerichtet.

Der Effekt eines Menschen ist daher allerdings (wie bei allen Haspeln) weit größer, wenn er am Tretrade Lasten heraufzieht, als wenn er sie in Körben Treppen heraufträgt; der große Effekt, der bei manchen jener englischen Räder erhalten wird, ist aber wohl der meist übermäßigen Anstrengung zuzuschreiben, zu der mittelst dieser Maschinen die Sträflinge angehalten werden können.

Auch Thiere können dergleichen Räder treiben, doch nur entweder mit den Vorderfüßen oder mit den Hinterfüßen arbeiten. Sie wirken dann auch bloß mit der Hälfte ihres Gewichtes, sowie sie auch nur den halben Körper zu erheben brauchen.

Auf der schiefen Tretscheibe (Fig. 166) wirkt hingegen zwar das ganze Gewicht, und diese Vorrichtung ist oft zweckmäßig noch, weil das Thier nach Bedarf einen kleineren oder größeren Kreis durchlaufen kann; die Principien bleiben aber dieselben.

§. 583. Einfache Winden mit senkrechten Wellbäumen (Fig. 168) werden in unzähligen Fällen angewendet, um Lasten in die Höhe zu ziehen oder überhaupt einen Widerstand mit Kraftgewinn zu überwinden. Im bürgerlichen Leben schon sind sie häufig nützlich. Zudem kann der Gewinn an Kraft noch bedeutend vermehrt werden, wenn man sie mit einem Flaschenzuge verbindet. (Fig. 105.)

Ist der Hebelarm a b zehnmal länger als der Halbmesser der Welle c d (die halbe Seildicke mitgerechnet), und hat der Flaschenzug 6 Tragseile, so verhält sich (theoretisch) die Kraft zur Last wie 1 zu 60, und nehmen wir für die Wirklichkeit das Verhältniß um $1/3$ kleiner an, so wird doch das Vierzigfache an Kraft gewonnen. Vermag also 1 Mensch 24 Pf. 3′ hoch in 1 Sek. zu heben, so kann er an einer solchen Maschine 40 × 24

oder 960 Pf. aufziehen; die Last wird jedoch nur um 1′ steigen, während die Kraft einen Weg von 60′ macht, oder um 1′ nur in 20 Sek.

Sind 4 oder gar 8 Hebelarme vorhanden, so werden eben so viele Männer eine Last von nahe an 40 oder 80 Zentner aufziehen können.

Soll die Last 48′ hoch steigen, so sind aber 6 × 48′ Seil aufzuwinden, und das Seil wird sich 48mal um die Welle aufwickeln müssen, wenn diese einen Umfang von 6′ hat, und die Hebelstangen müssen dann an 10′ lang seyn. Ferner würde ein Aufzug, da die Last in 1 Min. nur um 3′ steigt, 16 Min. dauern.

Ohne Flaschenzug ist die Reibung ꝛc. geringer. Wir können die reelle Leistung eines Menschen zu 24 Pf. mit $2\frac{1}{2}$′ Geschwindigkeit oder zu 60 auf 1′ Höhe annehmen und die eines Pferdes zu 120 Pf. mit 5′ Geschwindigkeit oder zu 360 Pf. auf 1′ Höhe.

§. 584. Bei der Anwendung aller Winden und Göpel kommen nun aber mehrere Umstände in Betracht.

1) Wichtig ist vorerst, daß der Mensch oder das Pferd mit der ihm angemessensten Geschwindigkeit in Thätigkeit sey, denn ein Mensch wird ebensowenig eine Kraft = 48 Pf. bei $\frac{5}{4}$′ Geschw., als eine von 12 Pf. bei 5′ Geschw. ausüben können, wenn er bei $2\frac{1}{2}$′ Geschw. 24 Pf. wirkt, und diese Geschwindigkeit seinem Bau am meisten zusagt. (454)

Ist also das Bewegungsmoment eines Mannes = 60 und die zuträglichste Geschwindigkeit $2\frac{1}{2}$ — 3′, so muß seine Kraft zu 20 oder 24 Pf. angenommen und danach die Verhältnisse der Maschine berechnet werden.

Sollen z. B. 2 Männer mit einer Winde 4 Ztr. in die Höhe ziehen, so muß das Neun- oder Zehnfache an Kraft gewonnen werden und jeder Hebelarm ebensoviel Mal größer seyn, als der Halbmesser der Welle. Bei 3 Ztrn. wird der Hebel um etwa sieben-, bei 2 Ztrn. kaum fünfmal länger seyn dürfen, damit der Mensch immer gleich geschwind gehen kann.

Dasselbe gilt für **Pferdegöpel** (Fig. 171). Ist das Bewegungsmoment des Pferdes zu 360 — 375 Pf. anzunehmen, und $2\frac{1}{2}$ — 3′ die passendste Geschwindigkeit, so ist seine Kraft am Zugbaume n = 120 — 150 Pf. Soll also ein Pferd 6 — 7 Ztr. in die Höhe ziehen, so muß der Baum fünfmal länger als der Halbmesser der Welle seyn, und da ein Pferd nicht wohl in einem zu kleinen Kreise herumgehen kann, so muß in diesem Falle die Welle einen bedeutenden Durchmesser haben oder das Seil sich über einen **Korb**, d. h. eine aus starken Stäben gebildete Trommel t (Fig. 171) sich aufwickeln.

2) Nach jedem Aufzuge muß das Seil wieder heruntergelassen werden. Damit dies keinen Zeitverlust verursache, wendet man gewöhnlich 2 Seile an, so daß zu gleicher Zeit immer das eine sich ab- und das andere sich aufwickelt, und die Welle wird dann wechselsweise nach der einen oder der andern Richtung umgedreht. Nach jedem Aufzuge muß ferner aber eine Last ab- und eine neue aufgebunden werden. Dadurch ergibt sich eine Unterbrechung der Arbeit und eine Ruhezeit für die Menschen oder Pferde, welche an der Winde arbeiten. Diese Unterbrechungen sind, wenn sie nicht über die Hälfte der Arbeitszeit dauern, ohne Nachtheil. — Denn ist der Mensch oder das Pferd zwölf Stunden lang bei der Arbeit und beträgt die ganze Erholungszeit nur vier Stunden, so dauert die reelle Arbeit dennoch acht Stunden, und sie hat also die gehörige oder normale Dauer.

Auch dieser Umstand hat aber auf die Einrichtung Einfluß. Dauert nämlich die Unterbrechung nothwendig z. B. 4 Min., so ist darauf zu sehen, daß jeder Aufzug 8 Min. erfordere, und daß, wenn die Last z. B. 120′ hoch gehoben werden muß, sie in 1 Min. um 15′ steige. Da nun die normale Geschwindigkeit des Menschen $2\frac{1}{2}$ — 3′ per Sek. ist oder in 1 Min. 150 — 180′, so sollte in diesem Falle der Hebelarm 10 — 12mal größer seyn als der Radius der Welle. Und daraus folgt dann auch, daß Winden nicht zweckmäßig sind, wenn der Aufzug nur von kurzer Dauer seyn kann, das Ab- und Aufwinden aber viele Zeit braucht.

§. 585. 3) Werden Lasten aus einer großen Tiefe aufgezogen, so kommt auch das **Gewicht des Seiles** oder der

Kette in Betracht. Bei großen Lasten wiegt das Klafter Seil ungefähr so viele Pfunde, als die Last Zentner. Wird also eine Last von 6 Ztrn. aus einer Tiefe von 50 Klaftern (300′) aufgezogen, so wiegt das ganze Seil wenigstens 3 Ztr. Im Anfange des Aufzuges beträgt daher die Gesammtlast 6 + 3 oder 9 Ztr. Sie wird aber immer kleiner, wie das Seil kürzer wird. In der Mitte beträgt sie nur 6 + 1½ oder 7½ Ztr. Allein wenn zugleich ein zweites Seil abgewunden wird, so zieht das Gewicht desselben in entgegengesezter Richtung, und um so mehr, je tiefer es sinkt. In der Mitte zieht das halbe Seil, und da dieses 1½ Ztr. wiegt, ist also die Last, die der Göpel zu überwinden hat, bereits nur noch 6 Ztr. Am Ende des Aufzuges, wo das Gegenseil mit seinem ganzen Gewichte wirkt, ist die reelle Last nur noch 3 Ztr., also dreimal kleiner als im Anfange.

Aus dieser Veränderlichkeit der Last ergibt sich ein großer Uebelstand. Denn zöge 1 Pf. an einer Deichsel, die vier- oder fünfmal länger ist als der Halbmesser des Korbes, so könnte dieses 6 Ztr. aufziehen, und würde daher im Anfange des Aufzuges die Last kaum überwinden, und zulezt zu wenig angestrengt seyn. Ja bei noch viel längern Seilen kann leicht der Fall eintreten, daß am Ende das Gewicht des Gegenseils größer wird als die Last.

§. 586. Diese **Ungleichheit** kann auf zweifache Weise gehoben werden.

a) Indem man unter den Kübeln ein zweites Seil anhängt. Die Gewichte der Seile halten dann nämlich stets einander das Gleichgewicht. Diese Methode macht jedoch nicht bloß doppelt so viele Seile nöthig, sondern der Druck auf die Welle und daher die Reibung wird dadurch vergrößert.

b) Indem man die Seile auf kegel- oder spiralförmige Körbe aufwindet. (Fig. 170.) Fängt nämlich der Aufzug eines jeden Kübels auf dem schmälern Ende des Korbes an, so ist das Verhältniß des Hebelarms der Kraft zu dem der Last am größten,

wenn diese leztere am größten ist, und das Umgekehrte hat am Ende des Aufzuges Statt. Ebenso wird das Gewicht des Gegenseils beim Herabsinken zuerst am größten und zulezt am kleinsten Hebel wirken. Durch ein angemessenes Verhältniß des größten und kleinsten Durchmessers des Korbes läßt sich daher erhalten, daß während des ganzen Zuges die Momente der Kraft und Last sich gleich bleiben, oder daß das Pferd immer dieselbe Anstrengung auszuüben hat. Beim Anfange des Aufzuges steigt nur die Last desto langsamer, und am Ende um so schneller.

Hat der Korb in der Mitte einen Durchmesser von 7′ und also einen Umfang von 22′, so wird, wickelt sich das Seil 13mal um, die Last 13 × 22 oder 286′ hoch gehoben werden. Ist der Zugbaum 5 × $^7/_2$ oder $18^1/_2$′ lang, so muß das Pferd einen Weg von 5 × 286 oder 1430′ machen, und ein Aufzug $\frac{1430}{180}$ oder etwa 8 Min. dauern. Die Last aber mag circa 6 Ztr. (5 × 120 Pf.) für 1 Pf. betragen können, da die Seilgewichte, so groß sie sind, sich bei dieser Vorrichtung ausgleichen. *)

c) Auch bei solchen Göpeln ist es sehr rathsam, Sperrräder oder andere Bremswerke anzubringen, damit (wie wenn etwa ein Seil bricht) der Gang der Maschine sofort angehalten werden könne.

§. 587. Die Erdwinde (Fig. 169) ist eine Maschine, die zum Fortschaffen großer Lasten auf der Erde, und wenn sie nicht auf Wagen geladen werden können, angewendet wird. Diese Winde muß sich also leicht an verschiedenen Orten aufstellen und befestigen lassen. Die Last wird auf massive Walzen gebracht und der Weg mit Balken belegt, die eine glatte Bahn bilden. So können Lasten von vielen 100, ja 1000 Ztrn. fortgezogen werden. Denn die erforderliche Zugkraft mag dann oft nur $^1/_{20}$ oder $^1/_{30}$ des Gewichtes betragen. Um 1000 Ztr. zu bewegen, ist dann

---

*) Ketten haben vor Seilen auch den Vortheil, daß sie nicht in ihrer ganzen Länge gleich stark seyn müssen, und daher weniger schwer seyn können. Ausserdem sind sie viel dauerhafter.

also die Zugkraft nur etwa 40 Ztr., und sind demnach die Hebelärme 16mal länger als der Radius der Welle, so können 10 Männer, die mit 25 Pf. Kraft arbeiten, jene große Last fortschaffen.

Bei einigen Winden, wie der Schiffswinde, ist die Einrichtung getroffen, daß das aufgewundene Seil von Zeit zu Zeit wieder abgewickelt wird, damit es sich nicht auf der Welle zu sehr anhäuft.

§. 588. Eine merkwürdige Art Haspel ist die sogenannte Gegenwinde oder der Gewalthaspel. (Fig. 172.)

Dieser Haspel gestattet einen großen Gewinn an Kraft, obschon er mit einer Kurbel gedreht wird und ohne daß die Welle zu dünn wird. Diese hat nämlich zweierlei Dicken, und während das Seil auf a aufgewunden wird, wird es bei b abgewunden.

Bei jedem Umgange wird hiemit $^{22}/_7$ a auf- und $^{22}/_7$ b abgewickelt, und da beide Seile x und y verkürzt werden müssen, so steigt die Last P nur um die Hälfte von $^{22}/_7$ (a — b), wenn a und b die beiden Welldicken bezeichnen. *)

Beisp. Ist die Kurbel 14″ lang, so macht die Kraft bei einem Umgange einen Weg von 88″, und ist der Durchmesser von a = 8″ und der von b = 5″, so wird bei jedem Umgange $^{22}/_7 \times 8''$ auf a auf-, und $^{22}/_7 \times 5''$ von b abgewickelt; P steigt daher um die Hälfte von $^{22}/_7 \times (8 - 5)$ oder um $^{33}/_7{}'' = 4^5/_7{}''$, und man gewinnt hiemit an Kraft im Verhältniß von $4^5/_7 : 88$ oder von $1 : 18^2/_3$.

Der Kraftgewinn steht im Verhältniß der Kurbellänge zur halben Differenz der Wellhalbmesser, oder man gewinnt im Verhältniß der vierfachen Kurbellänge zur Differenz der Welldicken. Jene ist = 56, diese hier = 3.

Man sieht indessen, daß diese Maschine sehr lange Seile nöthig macht, wenn eine Last auch nur auf eine mäßige Höhe

*) Je kleiner die Differenz beider Welldicken ist, desto mehr wird an Kraft gewonnen.

gehoben werden soll; und aus diesem Grunde wird sie, so sinnreich sie ist, selten angewendet.

Noch weit größer ist der Effekt bei der Einrichtung Fig. 175, und sie ist daher besonders geeignet, um mittelst einer Kurbel eine sehr große Last zu heben.

Offenbar gehen nämlich die Räder A und B und die Welle a und b nur 1mal um, während das Getriebe c und die Kurbel 6mal umgeht, wenn die Räder 6mal mehr Zähne haben, als das Getriebe. Hat daher a einen Durchmesser von 8″ und b einen von 5″, so wird bei einer Umdrehung der Kurbel (oder wenn die Kraft einen Weg von 88″ macht) 6mal weniger Seil auf- und abgewickelt, als bei der vorigen Maschine; beide Seile werden zusammen also um $\frac{1}{6}$ der Umfangsunterschiede verkürzt, und die Last steigt also um $\frac{1}{12}$ derselben, oder um $\frac{1}{12} \times \frac{22}{7}\,(8-5)$, d. i. um $\frac{11}{14}$″, während die Kraft einen Weg von 88″ macht. Man gewinnt hiemit mehr als das 100fache. *)

Von den Krahnen.

§. 589. Die Krahne oder Kraniche bilden eine besondere Gattung von Winden. Durch diese Maschinen will man nicht nur Lasten in die Höhe ziehen, sondern dieselben nach dem Aufzuge noch an einen bestimmten Ort versetzen können. Sie müssen daher eine doppelte Bewegung gestatten: eine senkrechte und eine horizontale.

In einigen Fällen mag zwar schon ein an einem Galgen A Fig. 176 aufgehängter Hebebaum ab ausreichen; will man aber bedeutend an Kraft gewinnen, so kann die Last nur wenig gehoben und nachher verrückt werden. Ungleich tauglicher sind die Krahne.

§. 590. Zu den einfachsten Konstruktionen gehört die Fig. 174 angedeutete. ab ist ein durch Streben q festgehaltener Ständer,

*) Während die Kurbel 6mal umgeht oder die Kraft einen Weg von $6 \times 88 = 528$″ beschreibt, wickeln sich $\frac{22}{7} \times 8$ oder $\frac{176}{7}$″ auf a auf, und $\frac{22}{7} \times 5$″ oder $\frac{110}{7}$″ von b ab; beide Seile werden hiemit um $\frac{66}{7}$ verkürzt und die Last steigt um $\frac{33}{7}$ oder um $4\frac{5}{7}$″. Die Last verhält sich also zur Kraft wie $528 : 4\frac{4}{7}$, oder wie $3696 : 33 = 111 : 1$.

dessen Enden mit Zapfen versehen sind, um die er sich drehen kann. c ist ein hervorragender und durch die Strebe d unterstützter Schnabel, der die Rolle e trägt. Das Seil (oder die Kette) wird über eine aus Eisenstäben gebildete Trommel f aufgewunden. Ist die Last klein, so wird f unmittelbar durch eine Kurbel umgedreht. Ist sie hingegen groß, so dreht man mittelst der Kurbel p ein Getriebe o, das in ein eisernes Zahnrad t greift. — Ist der Kurbelarm 4mal länger als der Halbmesser f, und hat t 5mal mehr Zähne als o, so kann eine Kraft von 50 Pfund eine Last von 1000 Pf. heben, und ein einziger Mann vermag diese Anstrengung zu leisten, da sie bei diesen Maschinen nie lange dauert. Beschreibt die Kurbel einen Weg von 7′, so sind 20 Umgänge nöthig, um die Last auf 7′, 40, um sie auf 14′ zu erheben. Ein Sperrrad hindert das Zurückgehen. Nach dem Aufzuge wird der Ständer gedreht, um die Last seitwärts zu bewegen und am gehörigen Orte abzuladen.

Bei dem Krahne Fig. 175 treibt die Kurbel eine erste Welle a, und mittelst eines Seiles das Rad b, dessen Welle c erst das Zugseil aufwindet. Da dieser Krahn ganz frei steht, so läßt er sich nach dem Aufzug, so weit man wünscht, herumdrehen.

Die alten Krahne wurden häufig mit Hülfe eines Laufrades in Bewegung gesezt und waren daher sehr schwerfällig. Jezt werden sie gewöhnlich durch Kurbeln gedreht, mit eisernen Räderwerken versehen und ganz oder größtentheils aus Gußeisen verfertigt. Die neuern Krahne sind daher weit geschmeidiger und bequemer, und nehmen weniger Raum ein. Auch findet man diese nützlichen Maschinen nun immer mehr und nicht bloß bei öffentlichen Ausladeplätzen, sondern auch in Fabrikanstalten, Handelshäusern u. s. w. im Gebrauch. In England bedient man sich häufig auch transportabler Krahne, die, so schwer sie sind, auf einem Wagen stehen und sogar sammt der aufgezogenen Last an jeden Ort geführt werden können.

§. 591. An diesen Maschinen bringt die Reibung und der Widerstand der Seile keinen großen Kraftverlust mit sich, wenn sie sonst gut konstruirt und wohl geschmiert sind. Der Verlust

beträgt dann höchstens $1/6$. Ein Uebelstand ergibt sich hingegen daraus, daß sehr ungleiche Lasten gehoben werden müssen und das Kraftverhältniß doch nicht beliebig geändert werden kann. Es läßt sich jedoch schon bedeutend modifiziren, wenn zwei Vorgelage und doppelte Kurbeln angebracht werden, zumal hier, da ein Aufzug nur wenige Minuten dauert, der Arbeiter nöthigenfalls einer ungewöhnlichen Anstrengung fähig ist.

Gesezt z. B., das Seil werde auf die Welle a (Fig. 177) aufgewunden, so wird, ist eine Kurbel x an dieser Welle und von vierfacher Länge, ein Mann (mit 25 — 50 Pf. Kraft) 1 — 2 Ztr. aufziehen können; und sind an beiden Enden Kurbeln, so mögen zwei Männer 2 — 4 Ztr. aufziehen, und sie werden bloß bald etwas schneller, bald etwas langsamer und mit mehr oder weniger Anstrengung die Kurbel umdreben müssen. Ist die Last größer, so wird die Kurbel y umgetrieben. Ist y = x und A 4mal größer als b, so gewinnt man nun das Sechzehnfache, und ein Mann kann hiemit 4 — 8, und zwei Mann können 8 — 16 Ztr. ziehen. Arbeiten sie endlich an z und ist B noch 5mal größer als c, so wird das 4 × 6 × 5 oder 80fache gewonnen und ein Mann wird 20 bis 40, und zwei werden 40 — 80 Ztr. zu heben im Stande seyn. *)

Vermittelst des Räderwerke m, n, o, p und der Kurbel q wird der Krahn leicht seitwärts gewendet.

§. 592. **Häspel** und **Winden** nennt man auch Vorrichtungen, um bloß Fäden (Tücher rc.) aufzuwinden, und bei welchen man, da die Last sehr klein ist, vielmehr an Geschwindigkeit zu gewinnen sucht.

Die gemeine Garnwinde dient, um Garn von Spulen abzuwinden und daraus Strehnen zu bilden. Wird die Kurbel x (Fig. 178) umgedreht, so wird der Faden von der Spule a auf den Haspel A aufgewunden. Gewöhnlich können viele Spulen

---

*) Es versteht sich, daß sich die Räder verschieben oder ausrücken lassen müssen, damit, wenn x gedreht wird, nicht auch das übrige Räderwerk in Gang kommt und unnöthige Reibung erzeugt. Ebenso ist klar, daß die Vorgelage leicht angeordnet werden können, um das Hundert- und Mehrfache an Kraft zu gewinnen.

zugleich abgehaspelt werden, und gewöhnlich ist eine Vorrichtung angebracht, um die Umgänge zu zählen.

Eines ähnlichen Haspels bedient man sich, um die rohe Seide von den Kokons abzuwinden, und da ist eine Vorrichtung angebracht, welche bewirkt, daß sich die Fäden kreuzweise übereinander legen. (Fig. 250.)

Mancherlei Häspel gebraucht man, um Tücher und Zeuche aufzuwinden. Auch bei den Papiermaschinen ist ein Haspel vorhanden, um das endlose Papier aufzurollen.

Zu den senkrechten Winden dieser Gattung gehört endlich der Scheerrahmen. (Fig. 127.)

Siebenter Abschnitt.

Von Rollwalzen und Walzwerken.

A. Rollwalzen.

§. 595. Liegt eine Walze w auf einer Fläche ab (Fig. 179), so lastet das ganze Gewicht der Walze auf einer nur äusserst schmalen Linie, und wird die Walze von a nach b gerollt (oder die Fläche in entgegengesezter Richtung unter ihr durchgezogen), so erleidet die ganze Fläche, doch linienweise und vorübergehend, den ganzen Druck der Walze. Man kann demnach mittelst einer solchen Walze einen sehr großen, wenn gleich nur augenblicklichen Druck gegen eine Fläche bewirken. Diese Bewegung der Walze erheischt überdies nur sehr wenig Kraft.

Ist die Walze 1′ (144‴) lang und 1 Ztr. schwer, beträgt der Umfang 100‴ und die Breite der Berührungslinie $\frac{1}{2}$‴, so lastet der ganze Druck in jedem Augenblicke auf einer Fläche von 72 □‴ oder $\frac{1}{2}$ □″, und der Druck per □″ ist also = 2 Ztr. — Geht aber die Walze in 1 Sek. einmal um, so dauert der Druck auf jeder Stelle nur $\frac{1}{200}$ Sek.

Da die Mittheilung der Bewegung einige Zeit erfordert, so wird zwar ohne Zweifel die Einwirkung des Drucks durch die kurze Dauer oder die schnelle Veränderung desselben etwas vermindert, immerhin gestattet aber der durch eine solche Walze erhältliche starke Druck mannichfaltige Anwendungen.

Beim Ackerbau werden schwere hölzerne oder steinerne Walzen oft gebraucht, um das Erdreich zu ebnen und Erdschollen zu zerdrücken. Aehnlicher hin- und herlaufender Walzen bedient man sich, um den Teig oder Thon, die Chocolade u. s. w. zu bearbeiten, und polirter, um Körper zu glätten.

Um den Druck zu verstärken, befestigt man die Walze oft, wie zum Glätten des Papiers, an eine Strebruthe, oder man beschwert sie, wie bei den Zeugmangen (Fig. 180), mit Gewichten.

§. 594. Harte und gravirte Walzen werden auch angewendet, um in Flächen erhabene oder vertiefte Figuren einzuprägen. Vielfachen Gebrauch macht man jezt besonders von kleinen Stahlwalzen oder Moletten, um Kupferplatten oder Druckwalzen zu graviren.

Gesezt, ein Dessin soll auf einer Kattundruckwalze 16mal in 20 Reihen wiederholt eingegraben werden, so wird derselbe erst nach dem gewöhnlichen Verfahren in eine weiche Stahlplatte gravirt und diese darauf gehärtet. Dann wird eine kleine und weiche Stahlwalze, deren Umfang genau so groß als das Dessin lang ist, so lange sorgfältig, und indem man sie eindrückt, auf jenem Stiche hin- und hergerollt, bis die Zeichnung darauf erhaben dargestellt ist, und auch sie sodann gehärtet. Diese kleine Walze heißt Molette. Mittelst dieser Molette wird nun leicht die Druckwalze gravirt, wenn man sie unter hinreichendem Druck um diese herumrollt. Ist die Walze genau 16mal breiter und 20mal länger als die Molette, so läßt sich so in kurzer Zeit das Dessin darauf 320mal repetiren.

Der Buchdrucker und Lithograph bedient sich elastischer Rollwalzen, um den Satz oder den Stein mit Druckschwärze zu überziehen oder zu schwärzen.

In der Kupferdruckpresse dient eine Walze, um successiv den ganzen Papierbogen an die geschwärzte Kupferplatte anzudrücken. Eine ähnliche findet sich bei der gewöhnlichen Kopirwalzenpresse.

Bei den neuen Schnelldruckpressen geschieht das Abdrucken, indem der geschwärzte Satz unter einer großen mit dem Papierbogen belegten Walze vorbeigezogen wird.

Um eine kontinuirliche Bewegung der Walze nach derselben Richtung zu erhalten, wird sie oft in einem Kreise herumgeführt. Auf diese Weise sind die Mühlen mit senkrechten Steinen (Fig. 181) zum Zermalmen von Gyps, Thon, Farbewaaren u. dgl., zum Zerquetschen von Oelsamen, der Schießpulvermaterialien u. a. eingerichtet. Da alsdann aber der innere Rand der Walze n einen kleinern Kreis beschreibt als der äussere p, so muß die Walze, besonders wenn sie ziemlich breit ist, konisch seyn, wie Fig. 182 (B).

§. 595. Da endlich sehr schwere oder beschwerte Walzen mit verhältnißmäßig sehr geringer Kraft auf einer zumal recht ebenen Fläche sich fortrollen lassen, so werden oft Walzen gebraucht, um sehr große Lasten, die nicht auf Wagen zu bringen sind, fortzuschaffen. Nach Rondelet konnte eine Last A (Fig. 180), die 1080 Pf. wog und die auf 3″ dicke Walzen und eine hölzerne Bahn gebracht wurde, mit einer 40mal kleinern Kraft (= 27 Pf.) fortgezogen werden. 100 Menschen, die nur mit einer solchen Kraft zögen, würden hiemit eine Last von 1080 Ztr. fortschaffen können, und in diesem Falle sind sie wohl einer viel größern Anstrengung fähig. Diese Bewegung hat zwar das Unbequeme, daß fortwährend neue Walzen untergelegt werden müssen, daß selbst, wenn man viele Walzen unterlegt, sie leicht eingedrückt werden und oft nicht parallel bleiben. Indessen ist dieses Mittel oft dienlich, Lasten von mehreren 1000 Ztrn. fortzuschaffen.

B. Walzwerke.

§. 596. Ein Walzwerk ist eine meist aus zwei parallel neben einander liegenden Cylindern a und b (Fig. 183) bestehende Vorrichtung, zwischen welchen, mittelst ihrer Umwälzung, ein Körper c durchgezogen werden soll.

Soll dies Statt haben, so müssen die Walzen 1) auf c einen gewissen Druck ausüben, 2) müssen sie in entgegengesezter Richtung oder gegen einander sich drehen, und 3) wenn beide in gleicher Zeit umlaufen, von gleichem Durchmesser seyn.

Wie bei den Rollwalzen erleidet der durchgehende Körper in jedem Momente nur auf einer schmalen Linie den ganzen Druck, und auch hier ist dieser oft sehr groß, aber schnell vorübergehend.

Die Walzwerke dienen zu sehr verschiedenen Zwecken, und demnach wendet man bald hölzerne, papierne oder metallene, bald glatte, gefurchte oder gravirte Cylinder an. Bisweilen besteht ein Walzwerk aus mehreren Walzen, zuweilen werden mehrere Walzwerke mit einander verbunden. Oft gibt man den Walzen einen bestimmten Abstand, oft wird dieser bloß durch den Widerstand des durchgehenden Körpers bedingt. Häufig wird nur ein Cylinder direkte in Bewegung gesezt, indem sich der andere in Folge der Reibung mit bewegen muß, zuweilen wird hingegen jeder unmittelbar gedreht.

§. 597. Walzwerke werden namentlich angewendet:

1) Als Organe zum Fortrücken oder Fortziehen eines Körpers.

So dienen zwei metallene Walzen x und y (Fig. 184) bei den Kardmaschinen, um die blattförmig abgestreifte Baumwolle durch den Trichter o zu ziehen, zusammen zu drücken und als Boudin in den Becher z zu leiten. So braucht man häufig zwei lange und kanellirte (d. h. der Länge nach fein geriffelte) Walzen von Eisen (sogen. Zuführwalzen) x (Fig. 124), um die ihnen durch ein endloses Tuch c genäherte Wolle oder Baumwolle zu ergreifen und langsam einem andern Organ zuzuführen. Ein ähnliches Walzwerk wendet man bei Rauhmaschinen an, um das Tuch an dem Rauhcylinder vorbeizuziehen u. a. m.

2) Zum Auspressen.

So geschieht das Auspressen des Zuckerrohrs mittelst dreier senkrechter Cylinder a, b, c (Fig. 185); die mittelste wird durch Thiere (oder Dampf) bewegt, und von ihr die Bewegung durch Räder x, y, z den andern mitgetheilt.

Hölzerne geriffelte Walzen gebraucht man zum Ausringen nasser Tücher. Bei Impregnir- und Schlichtmaschinen bewirkt ein Walzwerk das Auspressen des überflüssigen Stoffes. Während

eine mit Tuch überzogene Walze k (Fig. 186) aus dem Troge n Schlichte schöpft und beim Umdrehen dem Garne p mittheilt, streift der schwere Cylinder q das Uebermaaß von Schlichte ab. (Ist an der Axe von k eine Schnecke, die in einen Zähler greift, so läßt sich leicht messen, wenn eine gewisse Länge von Garn durchpassirt ist.) Ist die Walze q nicht schwer genug, so werden an beiden Enden Gewichte angehängt, um den Druck zu vergrößern.

5) Zum Glätten.

§. 598. Polirte Walzwerke wendet man jezt häufig an zum Glätten des Papiers und der Pappendeckel, zum Mangen, zur Appretur verschiedener Gewebe rc. Hieher gehören auch die Kalandern zur Glättung der baumwollenen Zeuge.

Gewöhnlich besteht ein Kalander aus drei Walzen (Fig. 187) und der Zeug geht in der Richtung der Pfeile von p nach q. b ist ein Cylinder von Kupfer, a und c sind papierne Walzen.*) Die oberste a steht fest und wird umgedreht. Die beiden andern werden mit großer Kraft angedrückt. Hier geschieht es, indem die Zapfen von c zu beiden Seiten auf einem Hebel de ruhen und dieser durch Gewichte h und mittelst eines zweiten Hebels fg gehoben wird. Sind die längern Arme beider Hebel 6mal länger als die kürzern, und hängt man 8 Zentner an, so wird c mit einer Kraft von 36 × 8 oder 288 Ztr. gegen die andern Walzen gedrückt, und dieser große Druck wirkt immerhin nur in jedem Augenblick auf zwei schmale Linien (§. 595). Soll die Kupferwalze heiß seyn, so wendet man eine hohle an, die mit einem Dampfkessel in Verbindung steht.

Walzwerke eignen sich besonders für vegetabilische Substanzen, denn die Glättung wollener Stoffe erheischt einen anhaltendern Druck.

---

*) Diese verfertigt man, indem man mehrere tausend ausgeschnittene Kreise von Papier um eine eiserne Axe steckt, so daß eine Säule entsteht, sie darauf fest zusammenschraubt und den Cylinder gut abdreht. Solche Walzen sind nicht zu hart und werfen sich doch nicht wie hölzerne.

4) Zur Dehnung der Metalle.

§. 599. Die vielerlei Walzwerke, die zu diesem Behufe besonders angewendet werden, heißen gewöhnlich Laminoirs.

Man läßt den Draht zwischen polirten Stahlwalzen durchgehen, um ihn zu glätten. So verwandelt man feinen Draht in Lahn, stärkern in dünne Streifen zu metallenen Nieten, deren Ränder dann von selbst abgerundet sind.

Stärkere Walzwerke sind geeignet, um aus Eisenstangen Faßreifeisen zu bilden, aus Stahlstangen Sägeblätter, Uhrfedern u. dgl., aus edlen Metallen Münzzainen. Diese Laminirwerke erheischen meist sehr viele Kraft und sehr harte Cylinder. Oft muß das Metall glühend durchpassiren.

Um Sägeblätter zu verfertigen, wird der Stahl erst unter einem Hammer platt geschlagen, dann durch vielmaliges Laminiren (erst glühend und später kalt) zu Blech ausgewalzt, dieses darauf in lange Streifen zerschnitten und jedes Blatt endlich durch ein Walzwerk egalisirt. Durch Schrauben (und Räder) werden die Zapfenlager und dadurch die Cylinder gehörig genähert und parallel gerichtet. (Fig. 188.) Die lezten Laminoirs erfordern weniger Kraft. Ein Kronrad A (Fig. 189) kann mittelst Getriebe b vier Walzwerke a in Bewegung setzen, und jedes einzeln durch Verschiebung eines Muffs c leicht abgestellt werden (§. 570). Ob die Walzen völlig parallel liegen, erkennt man in der Regel daran, daß das Blatt senkrecht auf die Walzen wie p (Fig. 190) hervorkommt. Denn ist der Widerstand der Walzen auf einer Seite auch um das Mindeste nur größer, so wird die dickere Seite des Blattes etwas kürzer und die Richtung (wie q) schief.

Aehnliche Laminoirs dienen zum Auswalzen der Münzzainen. Die lezten Walzwerke müssen auf das genaueste ajustirt werden können, denn nur wenn die Zainen haarscharf von einer bestimmten Dicke sind, können die ausgestückelten Platten genau das verlangte Gewicht haben.

Durch glatte Walzwerke verfertigt man ferner alle Arten Bleche, Bleitafeln, Folien 2c. Ihre Cylinder müssen natürlich weit länger seyn und darum aber von bedeutender Dicke, damit

sie sich nicht im mindesten biegen. Kann, wie zuweilen bei sehr langen Walzen und starkem Druck, einige Biegung nicht verhindert werden, so müssen sie absichtlich wohl in der Mitte etwas dicker gemacht werden. Das Walzwerk dehnt das Metall fast einzig der Länge nach aus. Je dünner das Blech schon geworden, desto mehrere Tafeln wurden zugleich durchgelassen, so daß man den Abstand der Walzen oft nicht zu ändern braucht.

Kanellirte Walzwerke (mit senkrechten Furchen) werden endlich häufig gebraucht, theils um das Roheisen zu frischen (nach der englischen Puddlingsmethode), theils um das Stangeneisen oder starken Draht zu verfertigen. (Fig. 191.)

Im ersten Falle ersezt der große Druck des Walzwerks den des Hammers beim gewöhnlichen Frischen. In allen diesen Fällen wird das Eisen glühend durchgezogen, damit es duktil genug ist. Die Arbeit erfordert möglichste Beschleunigung, damit die kurze Glühezeit bestens benuzt werde. Ebendaher erheischen aber auch diese Walzwerke viele Kraft.

5) Zum Zerschneiden von Metallen.

§. 600. Läßt man eine glühende Metallplatte durch ein gefurchtes Walzwerk gehen, dessen Furchen wie Fig. 193 stehen und scharfkantig sind, so wird die Platte in Stangen zerschnitten. Solche Walzwerke heißen Schneidewerke (fenderies).

Ueberhaupt können aber zwei scharfkäntige Walzen oder Scheiben wie a und b (Fig. 192), deren Kanten sich berühren und die sich gegen einander drehen, die Wirkung einer starken Metallscheere thun und statt einer solchen zum Zerschneiden von starkem Blech 2c. dienen.

6) Zum Aufdrucken oder Auspressen von Dessins.

Sind die Walzen, oder ist auch nur die eine, gravirt, so wird bei gehörigem Druck auf dem durchgezogenen Stoffe die Zeichnung erhaben dargestellt. Um die Wirkung stärker und bleibender zu machen, müssen die Metallwalzen oft erwärmt werden.

Sie sind dann gewöhnlich hohl, so daß sie einen glühenden Cylinder aufnehmen können.

Durch solche Walzwerke werden häufig Zeuge und zumal Bänder gauffrirt. Aehnliche dienen zum Auspressen von Figuren auf Leder, Papier, Pappe ꝛc. Auf gleiche Weise werden auch weichere Metalle verziert ꝛc.

Man hat dieses Prinzip sogar angewendet, um Nägel (und Münzen) auszuprägen.

Auf demselben Prinzip beruht ferner der Walzendruck. Der zu bedruckende Zeug wird zwischen zwei Walzen a und b (Fig. 193) durchgezogen. a ist mit einem wollenen Tuch überzogen, damit sie eine etwas elastische Unterlage bildet, und ruht in einem unbeweglichen Zapfenlager. b ist eine mit Dessins gravirte Metallwalze, die durch Gewichte oder Hebel mit großer Kraft gegen a angedrückt wird. Der untere Theil taucht in den Farbetrog c und wird dadurch mit Farbe versehen. Eine scharfe dicht an b anliegende Schneide (die Rakel) streift aber alle nicht in den Vertiefungen haftende Farbe ab.

Seit einiger Zeit wird eine ähnliche Maschine auch zum Papiertapetendruck (zu feinen Dessins) angewendet.

7) Zum Zerkleinern von Substanzen.

§. 601. Um z. B. das Malz zu zerschroten, läßt man es durch einen Mühltrichter a (Fig. 194) allmählig zwischen die Walzen b und c fallen, von denen es ergriffen und zerdrückt wird. *)

Auf gleiche Weise können gekerbte eiserne Walzen dienen, um die Steinkohlen zu zerkleinern und regelmäßig auf einen Herd aufzuschütten. **)

---

*) Auch zum Mahlen des Mehls wurden Walzen neulich sehr geeignet gefunden.

**) Von diesen Kohlenmühlen s. meine Dampfmaschinenlehre S. 139.

Ferner wendet man verschiedene, der Länge nach stark gefurchte Walzen an, um ohne Rotten den Flachs und Hanf brechen zu können, oder bei den meisten Brechmaschinen.

8) Zum Auseinanderziehen faseriger Stoffe.

Führt man eine trockene Schnur (von Baumwolle etwa) zwischen 2 Walzen a und b (Fig. 195) durch, wovon die untere eiserne a der Länge nach fein gefurcht ist, die obere mit Leder überzogene b aber durch Gewichte an a gehörig angedrückt wird, so muß, hat a einen Umfang von 3″ z. B., bei jedem Umgange derselben auch 3″ der Schnur durchgehen. Wird diese aber zugleich bei p und schneller fortgezogen, so muß sie sich nothwendig verlängern.

Dasselbe hat statt, wenn das faserige Gespinnst durch 2 oder mehrere hinter einander stehende Walzenpaare durchpassirt, wovon das eine sich immer schneller dreht als das andere. Auf dieser sinnreichen Vorrichtung, lockere Fäden auseinander zu ziehen, beruht hauptsächlich die mechanische Baumwollen-Spinnerei.

Haben die 3 Wälzchen x, y, z (Fig. 80) gleichen Umfang, läuft y aber zweimal schneller um als x, und z dreimal schneller als y, so muß 1′ einer durchgehenden Locke in einen 6′ langen Faden verlängert werden. Durch Räderwerk läßt sich ein beliebiges Geschwindigkeits-Verhältniß herstellen und dieses nach Gutfinden durch ein Wechselrad abändern. Ueberdies können die Durchmesser der Wälzchen etwas verschieden seyn (§. 569).

Verhalten sich die Umgänge wie 5, 11 und 25 und die Diameter wie 10, 11 und 12, so verhalten sich die Umfangs-Geschwindigkeiten wie 50, 121 und 300. Aus 50″ n erhält man also auch hier 300″ o.

Das Gewicht p (Fig. 80) drückt die Lederwalzen an, und mittelst der Traghebel kann der Druck auf die 3 Walzen nach Bedarf vertheilt werden.

9) Zum Aufrollen oder Aufwickeln.

Soll Garn auf eine Spule oder Tuch auf eine Walze aufgewickelt werden, so braucht man diese nur zu drehen. Soll

indessen das Aufwickeln gleichmäßig geschehen, so muß die Spule oder Walze, sowie sie dicker wird, immer langsamer umgehen. Sehr leicht wird nun diese (sonst sehr schwierige) Aufgabe gelöst, wenn man die Walze durch eine andere umdrehen läßt, denn nun bleibt die Umfangs-Geschwindigkeit nach §. 480 dieselbe. So kann man auch eine Reihe von Spulen a, b, c (Fig. 295) durch eine einzige Walze in Gang sezen, und jede einzelne nach Belieben abnehmen. Da die Tuchwalze n (Fig. 296) nur in Folge der Reibung durch m herumgeführt wird, so muß die Reibung, ist sie zu schwach, oft durch ein Gewicht p verstärkt werden.

Nach diesem Prinzip sind die Wickelmaschinen (Wattenroller) in den Baumwollen-Spinnereien eingerichtet. Ebenso wird es oft bei mechanischen Webstühlen, um das Tuch langsam und gleichförmig aufzuwickeln, angewendet; bei der neuen Vorspinnmaschine, dem double speeder u. a.

Achter Abschnitt.

Von den Fuhrwerken.

§. 602. Zu den nützlichsten Maschinen gehören die Fuhrwerke und namentlich die Räderfuhrwerke, denn die Last wird bei solchen ganz oder größtentheils von dem Boden getragen, und die Zugkraft hat nur zufällige Hindernisse zu überwinden.

Das einfachste Fuhrwerk ist der Schlitten oder die Schleife (Fig. 194). Liegt eine Last Q auf einem Schlitten ab, und ist der Weg völlig wagerecht, so würde sie, hätte keine Reibung Statt, mit der mindesten Kraft fortzuziehen seyn. Es ergibt sich nämlich nur darum ein Widerstand, weil eben der Druck des Schlittens auf den Boden eine Reibung erzeugt, und diese ist aber hier allerdings in der Regel sehr bedeutend, weil der Boden meist rauh ist, der Schlitten nicht geschmiert werden kann und derselbe über den Boden weggleiten muß. Der Reibungs-Coeffizient (515) mag gewöhnlich = $1/4$ oder $1/5$ seyn, oder 1 Pferd wird nur eine vier- oder fünfmal größere Last auf der Schleife horizontal und vorwärts als aber senkrecht aufwärts zu ziehen vermögen. Kann ein Pferd also 120 Pf. mit 3′ Geschwindigkeit erheben, oder ist seine Zugkraft = 120 Pfund, so sollte es 600 Pfund auf der Schleife ziehen

können.*) In etwas wird die Wirkung jedoch noch vermindert, weil das Pferd in einer schiefen Richtung ziehen muß.

Je glätter die Schleife und je ebener der Weg ist, desto mehr wird ein Pferd ziehen können. Auf sandigem Wege also viel weniger als auf Steinpflaster, da hier die Vertiefungen keinen Einfluß haben. Auf Schnee oder Eis kann die Reibung hingegen bis auf $\frac{1}{20}$ oder mehr sich vermindern. Schlitten sind überdies bequem, weil sich die Last leicht auf- und abladen läßt und weil die Bewegung sehr sanft ist.

Ungeschwächt bliebe die Zugkraft, wenn das Zugseil in der Brusthöhe des Pferdes oder bei f angebracht wäre, dann aber strebte die Kraft, an dem Hebel so wirkend, die Last um o zu drehen, was besonders beim Wenden gefährlich werden könnte.

§. 603. Weit wichtiger sind die Räderfuhrwerke, zumal die zwei- und vierrädrigen.

Betrachten wir zunächst den Zug auf vierrädrigen Wagen und ganz horizontalem Wege. Hier ruht die ganze Last auf den Rädern, und ist diese gleichförmig vertheilt, so drückt $\frac{1}{4}$ der Last auf jede Nabe,**) und jedes Rad mit dieser und seinem eigenen Gewichte noch auf den Boden.

Wären nicht nur die Axen, sondern auch die Räder an diesen, fest, so müßten die Räder, wenn die Axen fortgezogen werden, auf einem Punkte fortrutschen, und wäre also die gleitende Reibung $\frac{1}{6}$ der Last, so könnte auch hier 1 Pferd mit 120 Pf. Kraft nur eine Last von 720 Pf. fortziehen, und so verhält es sich, wenn alle Räder gespannt werden.

---

*) Rechnet man den Effekt bei achtstündiger Arbeit zu 55,000 Pf. per Min. oder 550 per Sek., so sollte die Zugkraft bei 4′ Geschwindigkeit noch = $137\frac{1}{2}$ Pf. seyn. Ist sie bei 3′ Geschwindigkeit 150 Pf., so wäre der Effekt = 27,000 per Min. und für 120 Pf. nur 21,600! Bei $3\frac{1}{2}$′ Geschwindigkeit legt ein Pferd 12,600′ per Stunde zurück, und mit 150 Pf. Zugkraft ist der Effekt dann 31,500 Pf.

**) Die Nabe ist die Höhlung des Rades, in der die Axe läuft.

Ist hingegen das Rad um die Axe beweglich und der Druck auf den Boden größer, als die Reibung der Axe in der Nabe, so muß beim Fortziehen das Rad sich drehen und gerade einmal umgehen, wenn die Axe um die Länge eines Rad-Umfanges fortgezogen wird. Da nun aber die Nabe auch nur einmal um die Axe sich dreht, so wird diese Axenreibung weit kleiner seyn, als die Reibung eines sich nicht umdrehenden Rades am Boden, und zwar im Verhältnisse des Umfanges oder Durchmessers der Axe zu dem des Rades. Oder haben die Räder einen Durchmesser von 4′ (oder 48″) und die Axen einen Durchmesser von 3″, so ist jene Reibung nun 16mal kleiner. Und da ferner die Axen und Naben sehr glatt und stets eingeschmiert seyn können, so wird überdies die Reibung an sich, obgleich sie auch eine gleitende ist, viel geringer und wohl oft nur zu $\frac{1}{10}$ anzunehmen seyn. *)

Man ersieht daraus, wie ungemein der Widerstand der Reibung durch Räder vermindert wird, denn die Axenreibung ist im vorliegenden Falle nur $\frac{1}{160}$ der Totallast, oder überhaupt $= fdz$, wenn f der Reibungs-Coeffizient, d das Verhältniß des Axendurchmessers und z die Last bezeichnet. **)

§. 604. Die Erfahrung lehrt indessen, daß eine weit größere Zugkraft nöthig ist, oder daß eine Kraft = 1 Ztr. lange nicht 160 Ztr., sondern meist nur 16—20 Ztr. fortziehen mag, und

*) Allerdings ist ausserdem noch die Reibung des Rades am Boden zu überwinden; dazu ist jedoch, weil das Rad sich rollt, eine ganz unbedeutende Kraft erforderlich, so daß sie übersehen werden kann, zumal, wenn man dagegen annimmt, daß die ganze Last nebst dem Gewichte der Räder auf die Nabe drückt.

**) Ist die Reibung der Axe an der Nabe oder $f = \frac{1}{9}$, der Durchmesser der Axe 15mal kleiner als der des Rades oder $d = \frac{1}{15}$ und $Q = 120$ Ztr., so ist die nöthige Zugkraft, um die Reibung allein zu überwinden, $= \frac{1}{9} \times \frac{1}{15} \times 120 = \frac{120}{135} = \frac{8}{9}$ Zentner.

daß also noch andere **Hindernisse** sich vorfinden müssen. Immerhin geht aus dem Obigen hervor:

1) Daß der Widerstand um so kleiner wird, je größer die Räder und je dünner die Axen sind, und man macht daher jene so groß und diese so dünn, als nur andere Umstände es gestatten. Je höher nämlich die Räder sind, desto schwerer werden sie und desto weiter werden sie von einander abstehen müssen, damit der Wagen nicht zu wenig Stabilität hat. Die Axen dürfen ferner nicht zu dünn seyn, weil selbst metallene dann zu schwach würden. *)

2) Daß die Reibung desto geringer ist, je glätter die Axen und Naben und je besser sie geschmiert sind.

3) Daß der Widerstand bedeutend größer ist, wenn auch nur ein Rad gespannt wird, so daß es sich nicht drehen kann und also auf dem Boden fortrutschen muß.

4) Daß ein Rad auch dann oft nicht umlaufen wird, wenn die Axenreibung bei sehr zäher Schmiere etwa zu groß, oder die Reibung am Boden bei sehr glatter Bahn zu schwach wird.

Auch aus dem Verhalten des Wagens auf einer **schiefen** Bahn ergibt sich, daß der Widerstand viel größer als der oben gefundene seyn muß. Denn bestände derselbe bloß in jener Reibung, so müßte ein Wagen auf einem Wege, der um $1/_{160}$ nur geneigt wäre, bereits von selbst zu laufen anfangen. Gewöhnlich geschieht dies aber erst bei einer Neigung von $1/_{30}$ oder $1/_{20}$.

§. 605. Dieser ungleich größere Widerstand rührt nun namentlich aus folgenden Ursachen her:

1) Von den **Unebenheiten der Straßen**. Finden sich nämlich darauf hervorragende Steine rc., so muß das Rad, das an solche stößt, nicht nur von seiner Bewegungskraft durch den Anstoß verlieren, sondern überdies sich über den Stein erheben. Der Stoß erzeugt einen Verlust, der um so größer wird, je

---

*) Die Nabe muß ferner eine beträchtliche Länge haben, damit sie sich weniger ausschleift und das Rad nicht schwanke. Gewöhnlich ist der Abstand der Räder ihrer Höhe gleich.

geschwinder die Bewegung ist. Auf Steinpflaster oder holprichten Wegen nimmt daher der Widerstand sehr merklich mit der Geschwindigkeit zu, und das Gerassel gibt genugsam die Wirkung der beständigen Stöße zu erkennen.

Leicht begreiflich ist ferner, daß ein besonderer Kraftaufwand nöthig ist, um das Rad über einen hervorragenden Stein zu erheben; denn ist a (Fig. 195) ein solcher Stein, so wird, damit das Rad darüber gehoben werde, eine Kraft $= \frac{xi}{yi}$ nöthig. — Das Rad muß nämlich um den Punkt i gedreht werden und das Pferd zieht an dem Hebelarme ci schief, hiemit senkrecht auf xi, und das auf c lastende Gewicht senkrecht am Hebelarme yi. Es ist klar, daß um so mehr Kraft erforderlich ist, je höher der Stein und je kleiner der Halbmesser des Rades ist.

Dieser Kraftbedarf müßte bei steinigen Wegen einen sehr großen Verlust zur Folge haben, wenn er nicht größtentheils wieder beim nachfolgenden Herabfallen des Wagens ersezt würde. Immerhin ergibt sich daraus ein sehr ungleichförmiger Widerstand, im Ganzen einiger Kraftverlust, und augenblicklich oft ein sehr großes Hinderniß. Offenbar können vierrädrige Wagen leichter dieselben Steine übersteigen als zweirädrige, da auf einmal nur $1/4$ der Last gehoben werden muß. Größere Räder sind überdies vortheilhafter, weil sie zwischen zwei naheliegenden Steinen weniger tief einsinken.

2) Von den Hervorragungen am Radkranze. Stehen an diesem, wie öfters und besonders bei neuen Rädern, Nagelköpfe hervor, so müssen diese gerade wie gleich hohe Steine wirken und um so schädlicher seyn, da sich die Wirkung beständig wiederholt. Auf dieselbe Weise werden nicht völlig kreisrunde Räder schädlich seyn, und auch solche Räder müssen sich daher genau um den Mittelpunkt der Axe drehen.

§. 606. 3) Von der Nachgiebigkeit des Weges. Wenige Straßen sind so vollkommen hart, daß durch den Druck des Rades nicht eine kleine Vertiefung oder ein Geleise entstehe. In diesem Falle läuft aber das Rad nicht auf einer völlig

horizontalen Ebene, sondern es muß beständig eine Art schiefer Fläche heransteigen und also auch hier ein Theil des Gewichtes gehoben werden. Dieser neue Widerstand wird um so größer seyn, je weicher die Straße und je kleiner der Durchmesser des Rades ist.

Er wird ferner größer bei zwei= als bei vierrädrigen Wagen seyn, weil bei gleicher Last die Räder der leztern nur halb so stark drücken.

Er wird endlich bei schmalen Felgen größer seyn als bei breiten, weil diese weniger einschneiden, und da eine Straße alsdann auch weniger leidet, so sieht man, daß die Einführung breiter Radfelgen, wenn gleich solche Räder schwerer und kostbarer sind, vortheilhaft für den Zug, sowie für die Straße seyn müssen. *)

Je größer die Last ist, desto breitere Felgen werden nöthig; kann z. B. eine gute Straße 320 Pf. per Zoll tragen, ohne daß sie merklich eingedrückt wird, so muß ein Rad, das mit 18—19 Ztrn. drückt, wenigstens 6'' breit seyn. Und da die Straßen im Winter meist weicher sind, so dürfen dieselben Wagen dann weniger laden.

4) Von der konischen Form der Räder. Bei vielen Rädern stellt man die Speichen etwas schief gegen die Nabe, so daß sie eine Art Kegel bilden. (S. Fig. 196.) Diese Gestalt hat mehrere Vortheile. Die obere Entfernung der Räder wird größer, so daß z. B. für den Kutschenkasten mehr Raum gewonnen wird; die an die Räder sich anhängende Erde wird beim Fahren seitwärts geworfen; jedes Rad endlich, das auf einer Seite etwas einsinkt und dann mehr Last tragen muß, hat alsdann aber auch mehr Festigkeit, weil nun eben die Speichen dieses Rades senkrechter zu stehen kommen. Indessen entsteht aus dieser Form auch eine besondere Reibung, denn da der eine

*) Für die Straße ist ferner zuträglich, wenn beide Räderpaare nicht gleich lange Axen haben, und daher 2 Geleise machen.

Rand der Felge einen etwas größern Kreis beschreiben muß, als der andere, und beide doch in derselben Zeit umgehen müssen, so müssen beide Ränder um jenen Unterschied auf dem Boden rutschen, und diese Form ist daher nur bei Rädern mit schmalen Felgen zuläßlich und jedenfalls ergibt sich daraus eine Vergrößerung des Widerstandes.

5) Von der schiefen Richtung des Zuges. Der Durchmesser der größten Räder beträgt aus verschiedenen Ursachen nicht über 5 oder 6′, und die Vorderräder vieler Wagen macht man noch weit kleiner, damit sie sich leichter wenden lassen. Da nun aber die Brust des Pferdes, mit der es zieht, 3 — 3½′ hoch liegt, so erhält das Zugseil gegen die Axe der Räder eine schiefe Richtung, und dadurch muß also ein Theil der Zugkraft verloren gehen. Da ferner diese Richtung nicht durch den Schwerpunkt des Wagens geht, so strebt der Zug zugleich den Wagen um den Schwerpunkt zu drehen, und hiemit die vordern Räder zu heben und die hintern in den Boden zu drücken. Auch diese Wirkung ist um so bedeutender, je schiefer die Richtung des Zuges ist und je kleiner die Vorderräder sind.

§. 607. Wenn nun auf einer gewöhnlichen Straße 1 Pferd kaum eine zwanzigmal größere Last fortziehen kann, als es senkrecht zu heben vermöchte und der Reibungswiderstand doch nur $^1/_{160}$ betragen mag, so ist klar, daß obige Umstände hauptsächlich den wirklichen Widerstand erzeugen, und so schwer oder unmöglich es auch ist, die Wirkung eines jeden einzelnen Hindernisses anzugeben, so läßt sich doch aus Obigem abnehmen, auf welche Weise mit derselben Zugkraft ein größerer Effekt erhältlich seyn mag.

Eine Verminderung des Widerstandes werden nun z. B. Federn schon bewirken, auf welchen die Last ruht. Indem diese nämlich die Wirkung der Stöße vertheilen, machen sie nicht nur die Erschütterungen für die Last oder die Fahrenden weniger fühlbar, sondern zugleich für die Zugkraft oder die Pferde.

Hauptsächlich wird aber der Effekt erhöht werden, wenn man die Wägen auf möglichst glatten und harten Bahnen laufen läßt, wenn man, wie dies z. B. in manchen Städten Italiens üblich ist, die Mitte der Straßen mit zwei Reihen ebener Quadersteine besezt, oder vollends, wenn man Eisenschienenbahnen anwendet, denn auf solchen wird der ganze Widerstand beinahe einzig in dem der Axenreibung bestehen, und diese sogar noch auf $1/_{200}$ oder $1/_{240}$ vermindert werden können. Es ist daher begreiflich, daß auf solchen Eisenbahnen, wenn sie völlig horizontal und möglichst zweckmäßig construirt sind, 1 Pferd zehn- bis zwölfmal mehr als auf der besten Landstraße, oder 200 bis 240 Ztr. mit 1 Ztr. Zugkraft zu ziehen vermag. *)

§. 608. Auf einem nicht wagerechten, sondern geneigten Wege strebt der Wagen mit seinem relativen Gewichte abwärts zu laufen oder zu fallen, und dieses verhält sich zum absoluten Gewichte wie die Höhe, um die der Weg steigt, zur Länge. Der Widerstand wird daher um so viel größer beim Hinauf- und um so viel kleiner beim Hinabfahren.

Steigt der Weg um 1″ per Klafter, d. h. um $1/_{72}$, und beträgt die Last (nebst Wagen) 48 Ztr., so muß beim Bergauffahren die Zugkraft um $1/_{72}$ oder um $2/_{3}$ Ztr. größer, beim Bergabfahren um ebensoviel schwächer seyn. Ziehen an diesem Wagen zwei Pferde und jedes mit 120 Pf. Kraft auf der Ebene, so muß nun jedes mit $153\,1/_{3}$ Pf. sich anstrengen, sowie beim Hinabfahren nur mit $86\,2/_{3}$ Pf. — Bei 2″ Fall muß jedes Pferd bergauf mit $186\,2/_{3}$ und bergab nur mit $53\,1/_{3}$ Pf. Kraft ziehen. Bei stärkerem Fall muß oft ein Rad gespannt werden, wenn der Wagen nicht von selbst laufen soll. **)

---

*) In eine nähere Beschreibung dieser Bahnen kann hier nicht eingetreten werden. Gewöhnlich sind die Bahnen flache Schienen (von Guß- oder Schmiedeeisen) und die Räder mit einem vorspringenden Rande versehen, wie Fig. 197.

**) Zum Spannen dienen Spannketten, Radschuhe oder Bremsen. Wie durch einen Hebel die Vorder- und Hinterräder eines Eisenbahnwagens gespannt werden mögen, s. Fig. 296.

Beträgt der Widerstand auf einer Straße $1/_{20}$, so wird er bei einer Steigung von 5% um noch $1/_{20}$ größer und also doppelt so groß, und abwärts = o. Soll daher die Anstrengung des Pferdes auch dann nicht über 2 Ztr. gehen, so darf sie auf dem ebenen Wege nur 1 Ztr. und die Last per Pferd nur 20 Ztr. betragen.

Je geringer der Widerstand ist, desto mehr verändert er sich bei demselben Gefälle des Weges. Ist er z. B. nur $1/_{40}$, so wird er bei einer Steigung von 5% schon dreimal größer, und beim Bergabfahren müssen die Pferde mit derselben Kraft den Wagen zurückhalten, mit der sie auf der Ebene ihn ziehen.

Eisenbahnen dürfen deßhalb beinahe gar kein Gefälle haben, denn beträgt auf einer solchen die Reibung nur $1/_{200}$, so wird bei einer Steigung von 1′ auf 100 der Widerstand schon dreifach, und bei einer geringeren schon muß der Wagen von selbst abwärts laufen.

Bei einer gewissen Steigung kann das Hinaufziehen eines leeren Wagens nicht mehr Kraft erfordern, als das Hinabziehen eines beladenen.

Da auf Eisenbahnen die Axenreibung soviel als allein den Widerstand ausmacht, so kann derselbe mittelst doppelter Räder ausnehmend reducirt werden. Fig. 198 zeigt einen solchen Wagen. Zieht die Kraft an den Axen der oberen Räder b, und sind die Durchmesser der Räder zehnmal größer als die der Axen, so ist die Reibung an der oberen Axe nur $1/_{100}$ von der, die am Boden beim Gleiten Statt hätte, und hiemit nur $1/_{800}$, wenn der Reibungs-Coeffizient $1/_{8}$ ist.

§. 609. Je länger ein vierrädriger Wagen ist, desto schwerer ist es, ihn zu wenden, und die Krümmungen der Straße müssen daher Bogen eines sehr großen Kreises seyn. Noch schwieriger wird das Wenden, wenn, wie auf Eisenbahnen, viele Wagen aneinander gehängt sind. Die Richtung der Zugkraft auf die hintersten Wagen würde überdies bei etwas starker Krümmung so schief, daß sie beinahe gar keine Wirkung hätte.

Je schneller ferner ein Wagen um eine Krümmung herumfährt und je stärker die Krümmung ist, desto mehr kommt auch

die Wirkung der Fliehkraft in Betracht (52), durch welche der Wagen nach der äußern Seite des Bogens leicht umgeworfen wird. Es ist daher gut, wenn die Straße, wo sie sich krümmt, nach der inneren Seite geneigt ist.

Die Vertheilung der Last und die Lage des Schwerpunktes hat überdies hauptsächlich auf die Stabilität des Wagens Einfluß. Je höher er liegt, desto leichter wird ein Wagen umgeworfen (§. 467).

§. 610. Eben so wichtig als schwierig ist endlich der Einfluß der Geschwindigkeit auf die Zugkraft, um die Leistung der Zugthiere zu bestimmen. Und noch scheint es nicht möglich, zuverläßige Gesetze aufzustellen.

Der Reibungs-Widerstand scheint bei größerer Geschwindigkeit nicht zu-, sondern eher abzunehmen. Die Zugkraft bleibt demnach auf Wegen, die keine Stöße erzeugen, bei jeder Geschwindigkeit ungefähr dieselbe. *) Nichts desto weniger wird für eine zwei- oder dreimal größere Geschwindigkeit zwei- oder dreimal mehr Kraft nöthig, weil die Zugkraft sich dann auch zwei- oder dreimal schneller bewegen muß. Eben daraus folgt aber, daß der Effekt oder der Kraftaufwand für einen gleichen Raum derselbe ist.

Ein Beispiel wird dies erläutern. Gesezt, ein Zentner-Dampf könne einen Wagen 1 Minute lang mit einer Geschwindigkeit von 6 Meilen per Stunde fortziehen, so werden in 1 Minute 2 Ztr. Dampf verbraucht, wenn er 12 Meilen machen soll, weil der Stempel sich zweimal schneller bewegen muß. In beiden Fällen kostet aber 1 Meile 1/6 Ztr. Dampf. Und dieses wird auch bei Dampfwagen durchaus als Grundsatz angenommen. Die Transportkosten bleiben bei jeder Geschwindigkeit ungefähr dieselben.

---

*) Und dies ergibt sich auch aus Rumfords Versuchen mit dem Dynamometer. Selbst auf sandigen Wegen blieb die Zugkraft unverändert, er mochte im Schritte oder im Trabe fahren. Nur auf steinigen nahm sie mit der Geschwindigkeit zu. Auch Macneils neuere Versuche ergaben wenig Unterschied.

§. 611. Anders verhält es sich hingegen, wendet man thierische Kräfte an. Wenn ein Pferd einen Wagen täglich in 8 Stunden 8 Meilen weit ziehen kann, so werden nicht 2 Pferde ihn in 8 Stunden 16 Meilen weit ziehen können oder 3 Pferde 24 Meilen weit (wie dies bei der Dampfkraft Statt findet), und ebenso wird 1 Pferd denselben nicht in 4 oder in $^8/_3$ Stunden täglich 8 Meilen fortschaffen können, denn:

1) vermindert sich bei doppelter Geschwindigkeit die disponible Zugkraft (die es ausübt),

2) ermüdet es viel eher.

Bei 2 St. Geschwindigkeit mag z. B. die Zugkraft nur $^7/_{10}$ seyn, und das Pferd dann nur 3 St. lang ziehen können, und bei 3 St. Geschwindigkeit nur $^1/_2$ und der Zug nur $1^1/_2$ St. lang dauern. *)

Wäre also die Zugkraft bei 1 St. Geschwindigkeit = 100 Pf., so wäre die Leistung im Tage 800 Pf. 1 St. weit, bei 2 St. Geschwindigkeit aber nur $70 \times 3 \times 2 = 420$ Pf. 1 St. weit, und bei 3 St. Geschwindigkeit nur $50 \times 1^1/_2 \times 3 = 225$.

Man ersieht daraus, daß der Pferdetransport um so theurer werden muß, je mehr Geschwindigkeit verlangt wird. **)

*) Die Verminderung der Kraft wird von Einigen also angegeben: Ist sie bei 1 St. Geschw. = 160, so ist sie bei 2 St. Geschw. = 100, bei 3 St. Geschw. = 60 und bei 4 St. Geschw. = 25, und schon früher stellte man die Regel auf, daß wenn 1 Pferd mit einer Geschw. von 5 St. laufen kann ohne alle Last, und bei 4 St. Geschw. eine Last = 1 ziehen kann, diese bei 3 St. (5 − 2) = 2^2 oder 4, bei 2 St. Geschw. = 3^3 oder 9, bei 1 St. = 16 und bei 0 St. = 25 seyn mag, oder daß, wenn 1 Pferd bei 1 St. Geschw. 160 Pfund Zugkraft hat, es 250, ohne zu gehen (8 St. lang) halten könnte.

**) 4 Pferde ziehen in England einen Frachtwagen von 70 Ztr. tagtäglich etwa 15 M. weit; die Leistung von 1 Pferd ist also = $262^1/_2$. 4 Pferde an einem Eilwagen von 50 Ztr. (10 M. per St.) ziehen ihn täglich nur 8 M. weit; die Leistung ist also = 100. Die Pferde werden aber weit mehr erschöpft. Enthält der

§. 612. Bei Schubkarren (Fig. 199) hat der Arbeiter, der ihn stößt, einen Theil der Last zu tragen. Ist die Last Q viermal weiter von b als von a entfernt, so hat b $^1/_5$ derselben zu tragen und $^4/_5$ drücken auf die Axe des Rades. Ist Q = 120 Pf., so hat also der Arbeiter 24 Pf. zu tragen und 96 Pf. ruhen auf der Axe, und ist die Reibung = $^1/_4$ und die Axe $^1/_6$ vom Durchmesser des Rades, so ist der Widerstand nur 4 Pf.

Nach Vauban führt 1 Arbeiter täglich 150 Pf. 46200′ weit (wenn er leer zurückkehrt). Der Nutzeffekt ist also 6,930,000 Pf. 1′ weit. Wenn nun 1 Hausirer kaum 100 Pf. so weit tragen kann, so wäre der Nutzeffekt durch den Schubkarren um die Hälfte vergrößert. Mit einem Karren führt (nach Guenireau) 1 Mann an 330 Pf. so weit; der Karren vermehrt den Effekt also auf das 3 — $3^1/_2$fache.

Beim (zweirädrigen) Karren ist nämlich die Last der Axe viel näher und das Rad viel größer. Wäre die Last der Axe vierzehnmal näher als dem Arme, so hat dieser nur $^1/_{15}$ von 320 Pf. oder 24 Pf. zu tragen, und 296 ruhen auf der Axe; ist die Axenreibung nur $^1/_{74}$, so ist der Widerstand ebenfalls nur 4 Pf., wie oben beim Schubkarren.

Kann 1 Mann 25 Pf. mit 2′ Geschw. senkrecht in die Höhe ziehen und in 1 Tage 6 St. lang anhaltend arbeiten, so ist der Effekt = 25·2·6·3600 = 1,080,000 oder = 1008 Pf. 1000′ hoch. Kann 1 Mann 100 Pf. täglich eben so weit tragen, so ist der Effekt = 4032 Pf. 1000′ weit oder vierfach, oder die Anstrengung, um 4 Pf. auf ebenem Wege zu tragen = der 1 Pf. senkrecht in die Höhe zu heben.

Hätte also 1 Mann, der 150 Pf. auf einem Schubkarren führt, der 30 Pf. wiegt, $^1/_3$ der Last oder 60 Pf. zu tragen, und betrüge die Axenreibung $^1/_8$ oder $7^1/_2$ Pf., so wäre die Anstrengung so groß, als wenn er 60 + 30 oder 90 Pf. zu tragen hätte.

Frachtwagen 50 Zentner Gut und der Eilwagen 15 Passagiere, so kostet der Transport für 1 Passagier $\frac{262^1/_2 \cdot 50}{100 \cdot 15}$ oder fast neunmal so viel als für 1 Ztr. Gut.

Neunter Abschnitt.

Von der schiefen Fläche und dem Keil.

A. Schiefe Flächen.

§. 613. Ziemlich selten nur werden schiefe Flächen als ordentliche Maschinen angewendet, sehr häufig jedoch kommen Bewegungen auf schiefen Ebenen vor. Die meisten Straßen sind streckenweise mehr oder weniger geneigt, und Bergstraßen haben oft ein ziemlich bedeutendes Gefälle. Noch schräger stehen Leitern, die Treppen und Baugerüste. Wer auf solchen auf- oder absteigt, bewegt sich also auf einer schiefen Ebene. Ebenso hat, wenn ein Mensch in einem Laufrade geht (580) oder wenn die Wagenräder über Steine 2c. sich heben müssen (605) 2c., eine Bewegung über schiefe Flächen Statt.

In allen diesen Fällen kommt die sogen. relative Schwere, die ein Körper auf einer solchen Fläche hat, in Betracht. (480) Um diese wird der Widerstand, der auf einer ähnlichen, aber horizontalen Ebene sich ergäbe, aufwärts vermehrt und abwärts vermindert. Und jene relative Schwere findet sich, geschieht die Bewegung parallel mit der schiefen Fläche, wenn man das

absolute Gewicht der Last g mit dem Verhältniß der Höhe h zur Länge l der Fläche multiplizirt. Sie ist $= g \times \frac{h}{l}$.

Steigt ein Weg um 1′ auf 40′, so ist die relative Schwere $= \frac{1}{40}$ q. Gesezt also, eine Last q von 1000 Pf. sey auf einem ähnlichen horizontalen Wege mit 80 Pf. Kraft zu bewegen, so wird dazu, hat er $\frac{1}{40}$ Steigung, aufwärts 80 + 25 oder 105 Pf. erforderlich.

Je kleiner der Widerstand an sich ist, desto mehr wird er verhältnißmäßig durch das relative Gewicht verändert. Wird dieses größer als der Widerstand, so bewegt sich der Körper von selbst abwärts, und es wird dann eine Kraft erfordert, um das Fallen schon zu verhindern.

Wäre der Widerstand bloß $\frac{1}{50}$, oder zum Fortziehen einer Last von 1000 Pf. auf ebener Bahn = 20 Pf., so wäre er bei einer Steigung von $\frac{1}{40}$ aufwärts schon = 20 + 25 Pf. oder mehr als doppelt so groß, und abwärts = 20 − 25 Pf. = − 5 Pf., d. h. es würden schon 5 Pf. nöthig, um ihn zurückzuhalten.

§. 614. Gewöhnlich erschweren und vertheuern Straßen, die ein beträchtliches Gefälle haben, den Transport, weil die Ersparung an Zugkraft bei'm Abwärtsfahren sich nicht gehörig benutzen läßt.

Ziehen 2 Pferde einen Wagen von 40 Ztrn. auf horizontaler Straße, indem die Zugkraft 240 Pf. ist, so werden 3 Pferde erfordert, wenn der Weg um 3 % aufwärts steigt, denn die nöthige Zugkraft wird um 120 Pf. vermehrt. Obschon sie nun beim Abwärtsgehen umgekehrt nur 120 Pf. beträgt, wird man jezt nicht 1 Pferd sparen können, weil vielmehr alle 3 Pferde den Weg zurück machen müssen. *)

*) Bei einigen engl. Eisenbahnen, deren Neigung stark genug ist, daß die Wagen von selbst laufen, ist die sinnreiche Einrichtung getroffen, daß das Zugpferd selbst auf einen niedrigen Wagen gebracht wird. Wahrscheinlich könnte diese Einrichtung auch bei andern Straßen vortheilhaft seyn, indem so die Pferde, statt beim Abwärtsgehen zu ermüden, während sie zurückkehren, ausruhen.

Zuweilen ist jedoch eine solche Compensation möglich, und namentlich wenn an einem Orte Güter bloß abwärts transportirt werden und die Wagen alsdann leer zurückgehen müssen. In diesem Falle ist dann die Last oft so abzumessen, daß zum Abwärtsziehen der vollen und zum Aufwärtsziehen der leeren Wagen die gleiche Zugkraft nöthig ist.

Auf der Darlington-Eisenbahn, die etwa um $^1/_{300}$ geneigt ist, zieht 1 Pferd täglich 4 Kohlenwagen (die 5 Tonnen wägen) mit 11 Tonnen Kohlen (circa 320 Ztr.) etwa 6 Stunden weit bergab, und die leeren (100 Ztr.) wieder bergauf. Da der Widerstand (wäre die Bahn horizontal) circa $^1/_{160}$ ist, so beträgt die nöthige Zugkraft:

Abwärts $^1/_{160} - {}^1/_{300} = {}^{14}/_{4800} \times 320 \times 112$ Pf.*) $= 104^1/_2$ Pf.

Aufwärts $^1/_{160} + {}^1/_{300} = {}^{23}/_{2400} \times 100 \times 112 = 107^1/_3$ Pf.

Die Zugkraft ist also beide Male ziemlich dieselbe, die Leistung des Pferdes aber sehr bedeutend; denn da es in einem Tag 12 Stunden Wegs oder 30 engl. M. zu 5280′ macht, so bewegt es sich (den Tag zu 8 Arbeitsstunden wie gewöhnlich gerechnet) mit $3^3/_4$ M. per Stunde Geschwindigkeit, oder mit 286′ (engl.) per Minute, und der Effekt ist also per Min. $= 286 \times 105^1/_2 = 30{,}173$ Pf. 1′ hoch.

§. 615. Ebenso mag auf steilern Bahnen die überwiegende Fallkraft einer abwärtsgehenden Last benuzt werden, um zugleich irgend eine andere aufwärts zu ziehen. Dergleichen selbstwirkende Bahnen, wie man sie in England nennt, kommen dort ziemlich häufig vor. **)

---

*) Denn der englische Ztr. = 112 englischer Pf., 320 Ztr. also 35,840 Pf.

**) Auf der Höhe der schiefen Ebene steht eine starke Rolle a (Fig. 200), über die ein Zugseil geschlagen ist und an welches oben die schweren, unten die leichtern Wagen angehängt werden. Hie und da sind auf der Fläche Leit- oder Friktionsrollen x vorhanden, über die das Seil oder die Kette läuft. Fig. A zeigt das Rad a mit den ersten Leitrollen b und c.

Wäre die schiefe Bahn um $^1/_{40}$ geneigt, so erforderten obige vier leere Wagen (100 Ztr. schwer) aufwärts eine Zugkraft
$= {}^1/_{160} + {}^1/_{40}$ oder $^5/_{160} \times 100$ Ztr., d. h. wenig über 3 Ztr.
Die Fallkraft von vier vollen Wagen (320 Ztr.) ist aber
$= {}^1/_{40} - {}^1/_{160}$ oder $^5/_{160} \times 320$ Ztr., d. h. = 6 Ztr.

Die vollen Wagen werden also schon bei einer minder geneigten Bahn im Stande seyn, während sie von selbst herablaufen, eben so viele leere Wagen hinauf zu ziehen; und bringt man an der Rolle, über welche das Zugseil läuft, eine Bremse an, so läßt sich die allzugroße Zunahme der Geschwindigkeit genugsam verhüten. *)

Das gleiche Prinzip läßt sich übrigens anwenden, wenn gleich schwere Wagen hinauf und herab gehen sollen. Es ist dann zwar statt der einfachen Rolle ein Motor, ein Göpel oder eine Dampfmaschine zum Ziehen nöthig; die Fallkraft der hinabgehenden Wagen wird man hier aber an Zugkraft ersparen. **)

Schiefe Flächen möchten zuweilen vortheilhaft seyn, als Mittel, sich mit geringerer Anstrengung auf eine Höhe zu erheben, um dann durch das Gewicht des eigenen Körpers Lasten in die Höhe zu ziehen. (456)

§. 616. Um Baumaterialien ꝛc. in die Höhe zu schaffen, wendet man entweder allerlei Aufzugmaschinen an, oder aber schiefe Gerüste, auf denen man sie hinaufträgt oder mit Schubkarren hinaufführt. Allerdings vermag nun ein Arbeiter mittelst jener Maschinen in der Regel mehr zu leisten, als wenn er die Last trägt oder im Schubkarren führt, weil er in diesem Falle zugleich den eigenen Körper heben muß. Die Maschinen machen

---

*) Ein zweckmäßiges Bremswerk ist §. 515 (Fig. 293) angegeben.

**) Solche Flächen sind bei Eisenbahnen ungefähr das, was Kastenschleußen bei Kanälen. Die übrige Bahn kann dann völlig horizontal liegen. Die große Abnutzung der Seile u. a. scheint jedoch den Vortheil dieser Einrichtung bedeutend zu vermindern.

jedoch ein besonderes Auf- und Abladen nöthig, und also eine Arbeit mehr. So lange daher jene Lasten nicht über 12 oder 16′ hoch zu bringen sind, ist gewöhnlich die Anwendung solcher Baugerüste noch vortheilhafter.

Zuweilen werden schiefe Flächen auch als wirkliche Maschinen gebraucht. Als solche ist z. B. die gemeine Faßleiter zu betrachten, welche beim Ab- und Aufladen schwerer Fässer treffliche Dienste thut. Ist die Leiter 12′ lang und der Wagen 3′ hoch, so hat ein Faß von 8 Ztr. auf der Leiter nur eine relative Schwere von 2 Ztr., und 2 oder 3 Männer können es leicht auf- und abwärts rollen. Auf ähnliche Weise werden schwere Fässer an Ketten herunter gelassen, u. s. w.

Die auffallendste Wirkung sieht man aber in Seehäfen und auf Schiffswerften, wo mittelst solcher Flächen und einer geeigneten Zugmaschine große Schiffe oft an's Land gezogen oder in's Wasser geschoben werden.

Es kann endlich die schiefe Fläche auch dienen, um eine sehr langsame Bewegung zu veranstalten. Denn ist z. B. die Länge ac 20mal größer als die Höhe ab (Fig. 31), so wird ein Körper d sich nur um $1/_{20}$ erheben, wenn ac um 1″ darunter weggeschoben wird. Zu diesem Zweck bringt man bei manchen Maschinen schiefe Flächen an.

Man macht von ähnlichen Flächen namentlich bei den Seidenfilaterien Gebrauch. (Fig. 201.) Es sollen nämlich hier viele Häspel langsam die gezwirnte Seide aufwinden, während die Spindeln ungleich schneller umgehen. Und dies geschieht, indem 1) die große stehende Winde A durch die Arme a Riemen umtreibt, die über die am Umkreise des runden Gestelles b stehenden Zwirnspindeln laufen; und 2) die schiefen Speichen c, wie die Winde sich dreht, allmählig die Zapfen d umgehen machen, die mit den Aufwindhäspeln in Verbindung sind.

B. Keile.

§. 617. Auf den ersten Anblick verspricht der **Keil** (Fig. 33) nur geringe Vortheile, denn 1) wird nur im Verhältniß seiner Länge dc zur Dicke ab an Kraft gewonnen, und dc ist selten mehr als 6mal größer als ab; 2) können Keile überhaupt nur eine mäßige Länge haben, und daher nur eine kleine Verrückung des Widerstandes bewirken; 3) verursacht der Druck des Widerstands gegen die Seiten des Keils eine bedeutende Reibung.

Nichtsdestoweniger gehört der Keil zu den wirksamsten Maschinen. Es kann nämlich die Kraft auf den Keil gewöhnlich durch **Stoß** wirken, der augenblicklich ungleich mehr als ein bloßer Druck vermag. Denn fällt z. B. ein schwerer Körper von einer Höhe von 4′ nur auf einen Keil herab, so ist der Effekt des Stoßes wenigstens 20mal so groß, als wenn er bloß durch sein Gewicht darauf drückte. Und dasselbe hat Statt, wenn der Keil mit einem Hammer eingeschlagen wird. Läßt man daher eine 1 Ztr. schwere Masse auf einen Keil fallen, so mag der Widerstand zu beiden Seiten desselben leicht einen Druck von mehr als 100 Ztr. erleiden.

Dann ergibt sich aus der **Reibung** gerade oft ein wesentlicher Vortheil. Beträgt diese nämlich $1/3$ oder $1/4$ des Drucks, so wird, ist der Keil 5 oder mehrmal höher als dick, derselbe nicht von selbst (d. h. durch den Gegendruck des Widerstandes) wieder zurückgeben können, sondern nach jedem Schlage eingekeilt bleiben.

Der Keil endlich empfiehlt sich als eine sehr einfache Maschine.

§. 618. **Keile** leisten daher in mancherlei Fällen sehr nützliche Dienste. Am häufigsten gebraucht man sie, um Holz, Steine oder andere stark zusammenhängende Körper zu trennen. Dann dienen sie, wie in der gemeinen Oelpresse, um einen starken **Druck** zu erzeugen.

Das Auspressen der Oelsaamen geschieht nämlich, indem durch wiederholte Schläge eines Stampfers x der Preßkeil a (Fig. 202) in die Oellade oder zwischen die Bretter c, d eingetrieben wird, so daß die in den Säcken b enthaltenen Saamen mehr und mehr zusammengedrückt werden. Nach der Pressung schlägt man einen zweiten verkehrt stehenden Keil, den Lösekeil f, ein, damit die Theile wieder auseinander genommen werden können. *)

§. 619. Sehr häufig wendet man Keile an, um Körper zu befestigen. Ist das vierkantige Stück cc (Fig. 203) in einem Loche a verschiebbar, so wird es festgemacht, wenn man in dasselbe Loch den Keil b einschlägt und dieser sich nur allmählig verjüngt, da er alsdann nicht von selbst zurückgehen kann. Zuweilen geschieht diese Befestigung vermittelst zweier von entgegengesezter Seite eingetriebenen Keile. Auch die Schließen der Buchdruckerformen (um den Satz in dem Rahmen zu befestigen) sind Keile.

In Fig. 204 dient der keilförmige Träger c, um allmählig und mit Gewinn an Kraft die Walze a zu heben und an b anzudrücken. Einen ähnlichen Zweck haben Keile, die man unter Mobilien schiebt, um sie fest zu stellen.

§. 620. Ausserdem wirken aber eine Menge Werkzeuge als wahre Keile; z. B. Beile, Aexte, Messer, Scheeren, Säbel, Ahlen, Nadeln, Nägel, Meißel, Pflugschaaren u. a. m. Im Beil ist gewissermaßen Keil und Hammer vereinigt. Der Nagel läßt sich wegen seiner keilförmigen Gestalt leicht in das Holz eintreiben, und wird dann durch die Elastizität desselben darin festgehalten. **) Die meisten dieser Werkzeuge erfordern eine sehr scharfe Schneide, während bei andern Keilen die Schneide

---

*) Eine einfache Keilpresse mit Hebeln 2c. s. polytechn. Journal B. 30; 7.

**) Rauhe Nägel, wie die Maschinennägel, lassen sich weniger leicht einschlagen, halten aber desto fester.

oft wegfallen kann. Bei manchen ferner haben beide Flächen nicht gleiche Länge 2c.

Selbst Bohrer, Sägen, Raspeln 2c. wirken als Keile. Der Bohrer ist ein schraubenförmig gewundenes Messer, jeder Zahn der Säge eine Art Keil. Besonders wirksam sind die in neuerer Zeit aufgekommenen Cirkularsägen, weil einerseits die Bewegung eine rotirende ist, und anderseits derselben eine beliebig große Geschwindigkeit ertheilt werden kann. Und aus derselben Ursache übertrifft der Effekt der neuen helikoidischen Scheermaschinen um Vieles alle frühern, weil hier die schneckenförmig um einen Cylinder laufende Schneide kontinuirlich und sehr schnell zugleich arbeitet.

Zehnter Abschnitt.

Von den Schrauben.

---

§. 621. Die Schraube ist, wie wir oben (§. 477) gesehen, als eine um einen Cylinder gewundene schiefe Fläche zu betrachten. Steckt die Schraube, wie gewöhnlich, in einer Schraubenmutter, so daß mehrere Gewinde sich gegenseitig berühren und ineinandergreifen, so drückt entweder die Schraube auf die Mutter, oder diese auf jene, als eine auf die innern Windungen vertheilte Last, und wird die eine oder die andere umgedreht, so wird jene Last längs der Windungen fortgeschoben und bei jeder ganzen Drehung um die Höhe eines Ganges verrückt.

Gewöhnlich wird aber die Schraube (die Spindel oder die Mutter) vermittelst eines Hebels oder einer Kurbel umgedreht, und der Weg, den die Kraft zu machen hat, wird dadurch mehr oder weniger vergrößert. Es ergibt sich daraus, daß die Last (die überwunden werden mag) sich zur drehenden Kraft verhalten kann wie die Höhe eines Schraubenganges zum Umkreise, den das Kurbel- oder Hebelende beschreibt, und daß man hiemit durch dieses Organ ausnehmend an Kraft zu gewinnen vermag, oder eine geschwinde Bewegung in eine ungleich langsamere verwandeln kann. Ferner erhellt aber auch, daß bei jener Bewegung eine sehr bedeutende Reibung Statt finden wird, da die

aufeinander drückenden Windungen übereinander weggleiten müssen, daß dadurch der Effekt um Vieles vermindert werden muß, daß jedoch eben diese Reibung leicht das Zurückgehen der Schraube, zumal wenn die Gänge wenig steil sind, verhindern kann. Ebenso wie ein Keil (478) wird nämlich eine Schraube nicht zurückgehen können, wenn der Reibungscoeffizient größer ist als das Steigungsverhältniß des Schraubenganges. Die Schraube wird z. B. nicht weichen, ist die Reibung $1/3$ des Drucks, und die Höhe eines Ganges nur $1/5$ oder $1/6$ des Umfanges. *)

§. 622. Diese Eigenschaften machen die Schraube zu sehr mannichfachen Zwecken brauchbar, und man wendet daher auch sehr viele Arten von Schrauben an.

Die meisten werden aus Holz oder Eisen verfertigt, und die leztern laufen gewöhnlich in messingenen Muttern. Doch gibt es auch gläserne, stählerne, goldene, hornene Schrauben ꝛc.

Die Gänge sind ferner bald scharf (wie A Fig. 208), bald rund (wie B), bald flach (wie C). Die hölzernen Schrauben sind insgemein scharfgängig, die stärkern Metallschrauben meist flachgängig. **)

Dann gibt man vielen Schrauben zwei oder mehrere gleichlaufende Gewinde oder Gänge. Mehrgängig macht man besonders solche, die eine beträchtliche Steigung haben und einen starken Druck aushalten sollen. Fig. 289 stellt eine dreigängige in ihrer Mutter dar. Man sieht, daß hier zu gleicher Zeit drei parallele Vorsprünge herumgewunden sind, so daß der Abstand ad die wirkliche Höhe eines Ganges bezeichnet, und daß der Gesammtdruck auf mehrere Gewinde vertheilt ist. Bei allen Schrauben

---

*) Die Kraft, welche den Schraubengang A (Fig. 205) umdreht, wirkt parallel mit der Grundfläche der Schraubengänge oder in der Richtung des Pfeiles x; der Gegendruck in der von y, und also sehr schief gegen ab, so daß eine starke Reibung leicht die Umdrehung hindert.

**) Nach Poncelet ist die Reibung bei flachgängigen nur halb so groß als bei sonst gleichen scharfgängigen.

müssen indessen, damit der Druck auf das ganze eingeschlossene Gewinde sich vertheile, die Gänge der Mutter genau denen der Spindel nachgebildet seyn.

Fast alle Schrauben haben rechts steigende Gewinde, doch gibt es auch linke. So müssen z. B. die Schrauben, die zum Festhalten der Wagenräder dienen, auf der rechten Seite rechte, auf der linken linke seyn.

§. 623. Die Schrauben dienen 1) um zwei Körper an einander zu **befestigen**. Zu diesem Ende ist dann oft keine Mutter nöthig. So dienen häufig einfache Schrauben (Holzschrauben), um hölzerne Theile mit einander zu verbinden. Der Kopf der Schraube hat dann einen Einschnitt oder ein paar Löcher, damit sie sich mittelst eines Schraubenziehers leicht umdrehen lassen. Sollen Metalltheile durch eine Schraube verbunden werden, so müssen jene hohle Gewinde haben. Oft indessen verbindet man zwei Körper a und b (Fig. 210) auch, indem man die Schraube durch beide gehen läßt und an beide Enden eine Mutter c und d anschraubt. Häufig ist endlich die Schraube an das eine der zu verbindenden Stücke selbst geschnitten, wie bei Pfeifenröhren ꝛc. Um die Schraubenmuttern leicht drehen und anziehen zu können, sind sie entweder mit Flügeln versehen, oder mit vier- oder sechseckigen Köpfen (Fig. 211), so daß ein Schlüssel n angelegt werden kann.

Ein ähnlicher (doppelter) Schlüssel dient öfters auch, um zwei Mütter festzuhalten (z. B. wie bei Zapfenlagern), damit sie sich durchaus nicht verrücken.

Holzschrauben haben vor Nägeln den Vortheil, daß sie fester halten und daß die vereinigten Stücke doch nöthigenfalls sich leichter trennen lassen. Denselben Vortheil haben bei der Vereinigung von Metallen ꝛc. die Schrauben vor Nieten oder dem Löthen. Unzählige Theile werden daher aneinander geschraubt, damit man sie nach Belieben wieder trennen kann. Es sind endlich Schrauben deßhalb auch ein treffliches Mittel, um gewisse Körper auf kurze Zeit nur fest zu halten oder an andere anzudrücken. Dahin gehören z. B. die verschiedenen Schraubstöcke der Metallarbeiter, die Leimzwingen der Tischler u. a. m.

Einen Schraubstock stellt Fig. 213 dar. Eine Schraube a dient, um denselben an den Arbeitstisch zu befestigen; eine andere b, um die Backen cc mit Gewalt zu nähern, zwischen die der Körper d, der gehalten werden soll, gesteckt wird. Beide Schrauben werden vermittelst eines durch ihren Kopf gesteckten Hebels p gedreht. Ist der Hebel 9″ lang und der Schraubengang $\frac{1}{3}$″ hoch, so erlangt (theoretisch) die Kraft eine $9 \times 3 \times 6\frac{2}{7}$ oder 170fache Gewalt. Die Feder n erleichtert das Wiederöffnen der Backen cc. Eine ähnliche Einrichtung hat der Feilkloben Fig. 212, und eine noch einfachere die Leimzwinge Fig. 206.

§. 623. 2) Da mit Hülfe der Schraube ein überaus starker Druck erzeugt werden kann, so wendet man sie bei fast allen Arten von Pressen, Präge- und Durchschnittmaschinen an. Ebenso macht man von Schrauben bei den Walzwerken Gebrauch (594), um die Cylinder einander zu nähern und in einer bestimmten Distanz festzuhalten, bei manchen Vorrichtungen um Räder zu spannen, u. a. m.

Zu den einfachsten Pressen gehört die gemeine Buchbinderpresse Fig. 207. Durch die Preßplatte ab gehen zwei Schrauben, und sie wird hinabgedrückt, indem man die beiden mit Flügeln versehenen Muttern c und d gleichmäßig umdreht.

Bei der einfachen Schraubenpresse Fig. 214 wird die Spindel a mittelst eines Hebels b gedreht, und sie geht durch eine unbewegliche Mutter c. Der Fuß wirkt auf die Preßplatte d, unter welcher der Körper m liegt, der zusammengepreßt werden soll. Um die Reibung zu mindern, wird die Schraube eingeschmiert, und läßt man den Fuß in einen metallischen Zapfen e enden, der sich in einer Pfanne dreht.

m läßt sich so lange zusammenpressen, bis der Widerstand der größtmöglichen Kraft gleich kommt. Diese verhält sich nun (theoretisch) wie der Umfang des Hebels b zur Höhe eines Schraubengangs; und wirkt also der Arm zuletzt mit einer Kraft von 50 Pf. und ist der Hebel 30″ lang, ein Gang aber nur 2″ hoch, so wäre der reine Effekt $= \frac{44}{7} \times \frac{30}{2}'' \times 50$ Pf. $= 4714$ Pf. Der wirkliche mag jedoch wenig mehr als halb so groß seyn, oder höchstens $= 2500$ Pf.

Eben deßhalb wird sich aber die Spindel, auch wenn die Kraft entfernt wird, nicht rückwärts drehen können; denn obschon m nun auch mit 2500 Pf. entgegenwirkt, so kann dieser Gegendruck doch lange nicht die Reibung überwinden. Er wirkt nämlich in senkrechter Richtung aufwärts, und hiemit sehr schief gegen die Windungen der Schraube, oder der Richtung, in der die Schraube sich drehen kann. Ist also die Wirkung der Schraube 5mal größer als die Höhe eines Ganges, so beträgt die Wirkung von m in jener Richtung nur 500 Pf., während die Reibung, die zu überwinden ist, weit über 1000 Pf. stark ist. — Sollte indessen bei stärkerer Steigung der Gänge oder geringerer Reibung ein Zurückgehen zu befürchten seyn, so kann dies leicht verhütet werden, indem man an der Schraube ein Sperrrad anbringt. (502.)

Der Effekt einer Presse kann durch eine Verbindung der Schraube mit Winden, Rädern oder andern Hebeln noch bedeutend erhöht werden. So kann man, um nur ein Beispiel anzuführen, die Schraube b (Fig. 215) zuerst von Hand mit Hülfe des Rades a umdrehen, und zulezt noch dieses vermittelst der Winde c. — Sind die Aerme d 10mal so groß als der Halbmesser von c, der Umfang von a 8mal so groß als der von b, und dieser 6mal größer als die Höhe eines Schraubenganges, so wird (die Reibung unbeachtet) die Kraft an d auf das $10 \times 8 \times 6$ oder das 480fache gesteigert.

Oft müssen Gegenstände (wie z. B. Tücher) eine Zeitlang zusammengepreßt bleiben. Es kann dies geschehen, ohne daß man sie unter der Presse lassen muß, wenn man beide Preßplatten a und b (Fig. 216) nach vollzogener Pressung mittelst der vier Schrauben und Muttern c, d fest aneinander schraubt, indem man sie dann aus der Presse nehmen kann. Einige nennen diesen Apparat eine falsche Presse.

§. 625. Präge- und Durchschnittmaschinen *) unterscheiden sich durch mehrere Eigenthümlichkeiten von eigentlichen Pressen.

---

*) Der Durchschnitt dient nicht bloß wie sonst, um die Münzzaine auszustückeln oder runde Platten auszuschlagen, die nachher zu Knöpfen ausgebildet werden, sondern sehr häufig jezt

1) Darf der Prägestengel oder der Drücker (das Ausschnitteisen) sich durchaus nicht drehen. Es muß der Stempel a (Fig. 223) sich also bloß auf- und abwärts verschieben können, wenn die Schraube b darauf wirkt.

2) Braucht der Stempel überhaupt nur um Weniges, um 1 oder $1/2''$ abwärts zu gehen; die Schraube muß sich daher schnell hin und her drehen lassen, und der Stempel sich jedesmal wieder heben.

3) Ergibt sich erst am Ende des Niederganges der eigentliche Widerstand; die Schraube muß daher so viel möglich durch Stoß wirken. Es wird deßhalb nöthig, daß die bewegende Kraft sich einigermaßen ansammeln oder konzentriren lasse.

Es geschieht dies, indem man der Schraube ziemlich steile Windungen gibt, so daß, wenn ein oder mehrere Männer an den Hebelarmen n ziehen, $1/4$ oder $1/5$ Wendung schon hinreicht, um das erforderliche Herabgehen zu bewirken. Ferner versiebt man das Ende dieser Arme mit schweren Schwungkugeln, damit das Anziehen gleich Anfangs Kraft erfordere, und diese während des ganzen Zuges von den Kugeln und dem schweren Balancier aufgenommene Kraft ist es dann auch, die, wie der Stempel Widerstand findet, augenblicklich einen sehr starken Druck oder einen wirklichen Stoß hervorbringt. (§. 496 und 97.) *)

---

um Bleche zu durchlöchern oder aus Blechen mannichfach geformte Stücke heraus zu schneiden. So wendet man ihn in Schmuck- und Quincailleriefabriken, Flinten- und Uhrenfabriken u. a. m. häufig an, um schnell und regelmäßig einzelne Bestandtheile ꝛc. zu bilden. Indem man z. B. aus einer runden Platte successiv immer kleinere ausschlägt, verwandelt man sie in Ringe von abnehmender Größe. (Von Durchschlagmaschinen war auch oben die Rede.)

*) Diesen Vortheil hat Revillon auch bei eigentlichen Pressen erzielt, indem er die Spindel mit einem Flug- oder Schlagrade so verband, daß dieses nach jedem Schlage, ohne auf die Spindel zu wirken, zurückgedreht werden kann. S. polyt. Journal 28, 591; 29, 98; 30, 407.

Eben daher erfordern aber diese Maschinen eine ausgezeichnete Stärke und man wendet deßhalb metallene und drei- oder mehrgängige Schrauben an, schmiert sie gut ein und läßt sie in einer hohen, viele Gänge umfassenden Mutter d laufen. Da übrigens die Gänge ziemlich steil sind, so springt die Schraube meist von selbst zurück, und die Arbeit geht daher mit großer Schnelligkeit von Statten, erfordert aber viele Anstrengung. *)

§. 626. 3) Schrauben werden sehr oft gebraucht, um irgend eine langsame, abgemessene Bewegung hervorzubringen.

Stehen die Windungen der Schraube ab (Fig. 217) nur um $\frac{1}{3}$''' von einander ab, so wird bei jeder Umdrehung derselben die Mutter c und hiemit der an dieser befestigte Stab d auch nur um $\frac{1}{3}$''' verrückt. Ebenso wird aber eine $\frac{1}{10}$ oder $\frac{1}{20}$ Wendung der Schraube den Stab nur um $\frac{1}{30}$ oder $\frac{1}{60}$''' verrücken. Schrauben dieser Art pflegt man Mikrometerschrauben zu nennen. Häufig kommen sie bei Teleskopen, Mikroskopen, Zirkeln u. a. genauen Instrumenten, bei Zählern &c. vor.

Einen ähnlichen Zweck haben die sogenannten Stellschrauben, die man oft anbringt, um einen Maschinentheil genau in eine bestimmte Lage zu rücken, oder die Schrauben, mit denen man endlose Schnüre nach Bedarf spannt (wie beim gemeinen Spinnrade), oder den Abstand zweier Rollen oder Walzen (599) regulirt.

§. 627. Kann das Stück a (Fig. 218) sich nur längs des Rahmens cc bewegen, so wird es vor- oder rückwärts gerückt, wenn die Spindel b, die durch eine in a enthaltene Mutter geht, mit der Kurbel d links oder rechts gedreht wird. Eine solche Spindel b heißt eine Leit- oder Führungsschraube, indem sie dient, einen Maschinentheil langsam in einer gegebenen Linie zu verschieben.

Dasselbe geschieht bei Fig. 219 Das Ende der Spindel ist hier mit a so verbunden, daß a sich nicht dreht, sondern nur

*) Nach denselben Prinzipien sind manche kleine Siegelpressen konstruirt.

der geradlinigten Bewegung der Schraube folgt. Bei n ist die Mutter, und die Spindel selbst wird aus dem Rahmen c c verschoben.

Häufig kommen dergleichen an Drehbänken vor, um den das Dreheisen tragenden Schieber allmählig fortzurücken. Auch kann eine solche Schraube, die entweder das Abdreheisen oder den abzudrehenden Cylinder verschiebt, dazu dienen, um in diesen spiralförmige Vertiefungen und hiemit Schraubengänge einzudrehen. *) Aehnliche Schrauben gebraucht man überdies, um den Grabstichel gehörig zu nähern und um den abzudrehenden Gegenstand einzuspannen u. s. w.

§. 628. Dreht sich die Schraube in einer unbeweglichen Mutter, so geht sie bei jeder Umdrehung um die Höhe eines Ganges fort. Drehte sich zugleich die Mutter und zwar in entgegengesezter Richtung, so würde die Schraube gar nicht fortgehen, wenn die Mutter gleich geschwind umginge, und nur mit dem Unterschiede der Geschwindigkeit, wenn die Mutter langsamer sich drehte. Dieses sinnreiche Mittel, das Fortrücken der Spindel beliebig zu verzögern, wird bei den englischen Cylinderbohrmaschinen angewendet. Wir geben hier einen Begriff von dieser Maschine, weil sie auch hinsichtlich des Räderwerks merkwürdig ist.

---

*) So werden Schrauben angewendet, um neue ähnliche zu bilden. Auf dieselbe Weise bringt man mit Hülfe von Führschrauben die spiralförmigen Gewinde in gezogenen Flintenläufen hervor. Fig. 230 deutet eine neulich von Antiq erfundene Maschine an, um Bleche siebförmig zu durchlöchern. Das Blech wird auf einer Trommel A befestigt, durch welche eine Schraubenspindel a geht, deren Mutter in b ist. c ist eine mit feinen Stahlspitzen (gleich Zähnen) besezte Scheibe, die stark genug gegen das Blech angedrückt wird, damit eine Spitze hineindringe. Dreht man daher die Kurbel d, so wird das Spitzenrad c in spiralförmigen Linien das Blech durchlöchern, weil nicht nur die Trommel sich auch drehen muß, sondern weil sie zugleich längs der Schraube a fortrücken wird. Eine Führungsschraube ist ferner a b am Canellirstuhle.

Der Cylinder A (Fig. 224), dessen innere Wand abgedreht werden soll, ist unbeweglich, und das Abdrehen wird durch die an der Axe a a befestigte Schneide m verrichtet. Da die gußeisernen Cylinder hart und spröde sind, so muß a sich langsam drehen, die Schneide eine äusserst kleine Breite haben, und diese also sehr langsam fortrücken. Die Axe a kommt durch das Getriebe b (das eine Dampfmaschine umtreibt) in Bewegung, und sie ist sehr langsam, weil c und e viel größer sind als b und d. Da aber die Axe a in der Richtung des Pfeils langsam fortrückt, so ist e an derselben vermittelst einer Warze verbunden. die in eine längs der Axe laufende Rinne eingreift. So kann die Axe fortgeschoben werden, ohne daß e verrückt wird, und es greift daher immer in d ein.

Das **Fortrücken** der Axe und der Schneide wird dadurch bewirkt, daß mit jener eine Führschraube k verbunden ist, die durch eine Mutter l geht. Da indessen die Schraube stark und die Höhe eines Gangs wohl 1″ betragen muß, so würde die Schneide bei jedem Umgange um 1″ und also viel zu schnell fortrücken. Man macht daher, daß zugleich auch die Mutter und zwar in derselben Richtung und um sehr Weniges nur langsamer sich dreht. Dazu dienen die Räder f, g, h, i; f und g haben gleichviel Zähne, h hingegen z. B. 41 und i nur 40 Zähne; h muß sich daher um $\frac{1}{40}$ langsamer drehen, als i, g und f oder als die Schraube; und da an h die Mutter festsizt, so bewegt sich auch diese und in derselben Richtung, aber um $\frac{1}{40}$ langsamer. Und daraus erfolgt, daß die Schraube bei jedem Umgang nicht um 1″, sondern nur um $\frac{1}{40}$″ fortrückt. Noch ist zu bemerken, daß da die Axe und also f fortrückt, auch g verschoben werden muß; und dies wird dadurch möglich, daß g an einem vierkantigen Wellbaume steckt und zugleich einen vorspringenden Rand hat.

§. 629. Eine sinnreiche Verbindung zweier Schrauben, und zwar einer rechten und einer linken, zeigen die englischen **Korkzieher**. (Fig. 220.) An dem Griff a ist eine viergängige rechte Schraube b b, und diese geht durch eine zweite fünfgängige und linke c c. In c c ist eine Mutter für jene Schraube b, und in

d die Mutter für die Schraube c. Dreht man den Griff a rechts (nachdem die Schrauben die in der Figur bezeichnete Stellung haben), so geht b in c hinein, und der Wurm f in den Stöpsel; und fährt man dann rechts zu drehen fort, so geht nun die linke Schraube c rechts, d. h. aufwärts und der Stöpsel muß also hinausgezogen werden. Um den Wurm aus dem Zapfen zu ziehen, wird a links gedreht. Da die Schrauben steile Gänge haben, so geht das Oeffnen einer Flasche sehr schnell.

4) Häufig endlich macht man von Schrauben, die in ein Zahnrad eingreifen, oder von Schrauben ohne Ende (Schnecken) Gebrauch, da durch kein einfaches Organ so viel an Kraft gewonnen oder in solchem Verhältnisse die Geschwindigkeit vermindert werden kann.

§. 630. Vermehrung der Kraft beabsichtigt man bei ihrer Anwendung an Winden, Pressen u. dgl.

Bei dem Haspel Fig. 221 muß die Kraft an der Kurbel a so viele Male umgehen, als das Rad c Zähne hat, damit die Welle b einmal umgeht. *) Die Kraft wird sich (theoretisch) also zur Last p verhalten wie b : a × c, wenn

a die Länge der Kurbel ist,
c die Zahnzahl des Rades, und
b der Halbmesser der Welle.

Ist a = 9″, b = 3″ und c = 40, so verhält sich p zu k (der Kraft) wie 9 × 40 : 3 oder wie 120 : 1. Wird die Kurbel 30mal per Min. umgedreht, so wird aber p in 4 Min. nur um 3 Umfänge der Welle oder um etwa 29″ gehoben, und in einer Stunde kaum um 36′.

*) Oft gibt man — größerer Stärke wegen — auch diesen Schrauben mehrfache Gänge. Ist eine solche eine dreigängige, so gehen natürlich bei jeder Umdrehung auch drei Zähne weiter, indem die Theilung (oder Schrift) dann auch dreimal feiner ist. Bei obigen Angaben sind aber immer eingängige vorausgesezt.

Es mag ferner, da die Reibung beträchtlich ist, die wirksame Kraft kaum zu $^2/_3$ anzunehmen seyn;*) immerhin würden zwei Männer, deren Kraft = 24 Pf., eine Last von 2 · 16 · 120 oder von 38 Ztrn. heben können. Und noch viel größer könnte der Effekt seyn, würde man ein Vorgelege anbringen, oder wäre b ein Getriebe, das in ein zweites Rad mit Welle eingriffe.

Von großem Effekt ist die Winde Fig. 222; denn hat das Rad a 8mal mehr Zähne als das Getriebe b, so muß die Kurbel 8mal umgehen, damit die Zahnstange c um einen Zahn steigt; und beträgt hiemit der Umfang der Kurbel 40″ und ein Zahnabstand 1″, so ist die Kraftvermehrung = 8 · 40 = 320.

Von noch größerer Wirksamkeit ist aber die Winde Fig. 225. Mit der Kurbel a dreht man eine endlose Schraube b, die in ein Stirnrad c greift, und dieses enthält eine Mutter, durch welche die Schraubenspindel f geht. Hat also c 30 Zähne, so muß a 30mal umgedreht werden, damit die Last (die bei g oder h aufliegt) um die Höhe einer Windung von f steigt, und hat also a 9″ Länge, so bilden 30 Umgänge einen Weg von mehr als 1680″, und man gewinnt also das 1680fache an Kraft, wenn eine Windung von f nur um 1″ steigt. Es ist hiemit begreiflich, daß mittelst solcher Winden die größten Lasten, wie ganze Dachstühle oder Häuser, sich heben lassen.

Bei der Straßenwage (539) bedient man sich der Verbindung einer Schraube mit einem Räderwerk und einem Hebel um mit geringer Kraft den auf der Brücke stehenden Frachtwagen in die Höhe zu heben. Mit der Kurbel a (Fig. 227) dreht man das Getriebe b, und dieses greift in ein Rad c, dessen Axe eine Schraubenspindel d trägt. Durch die Drehung dieser Spindel wird die Mutter e, die am Ende des Balkens fgh steckt, auf- oder abwärts bewegt, und so die Brücke, die auf der Stange gh ruht. Ist c 4mal größer als b, und fe 4mal länger als fg, die Windung eines Schraubenganges aber 1″ hoch,

*) Daß, wie Langsdorf berechnet, $^3/_4$ der Kraft bei dieser Maschine verloren gehen solle, scheint unglaublich.

so steigt oder sinkt bei jeder Umdrehung der Kurbel a die Last nur um $\frac{1}{16}$″. Eine effektive Kraft von 15 Pf. an einer 7″ langen Kurbel wird also eine Last von $\frac{44}{7} \cdot 7 \cdot 16 \cdot 15$ oder von 10560 Pf. heben können.

§. 631. Eben so oft wendet man die endlose Schraube (oder Schnecke) an, um eine sehr langsame Bewegung hervorzubringen.

Bei einer Kardmaschine z. B. soll die Zuführwalze d (Fig. 228) an 40mal weniger Umgänge machen, als der Kratzcylinder A. Diese Verlangsamung wird erhalten, trägt man die Bewegung von A durch Winkelräder (von gleicher Größe) a und b auf einen kleinen Wellbaum x über, und läßt man eine Schnecke c ein Rad d mit 40 Zähnen drehen.

Bei Drehorgeln ist an der Welle der Kurbel eine Schnecke, und an der Stiftwalze ein Rad mit vielen Zähnen, in das jene eingreift, weil oft auf 100 und mehr Umgänge der Kurbel die Stiftwalze nur einmal umgehen soll.

Derselbe Mechanismus wird zuweilen an mechanischen Webstühlen, Bandstühlen u. a. angewandt, um das allmählige Umgehen des Tuchbaumes zu bewirken, bei Schlichtmaschinen zur Bewegung des Garnbaumes u. a. m.

Sehr geeignet ist er ferner, um die Umgänge einer Walze zu zählen. Will man z. B. wissen, wenn ein Garnhaspel a (Fig. 226) 70 Umgänge macht, so darf man die Axe nur mit einer Schnecke b versehen, und diese in ein Rad c von 70 Zähnen greifen lassen; denn c wird dann genau einmal umgehen, während a 70mal umgegangen ist; und bringt man an c einen Stift d an, der nach vollendetem Umgange eine Feder e, und mittelst dieser eine Glocke in Bewegung setzt, so wird man, ohne selbst die Umgänge zu zählen, jeweilen erfahren, wenn ihrer eine bestimmte Anzahl Statt gehabt.

Aehnliche Zähler werden (obschon auch Räderwerke dazu dienen können) bei vielen Maschinen angebracht; bei Schrittzählern

oder Wegmessern (indem an der Axe des Rades eine endlose Schraube ist 2c.) bei Strommessern u. a.

Fig. 300 deutet eine von Noriet (pol. J. 25, 482) angegebene Vorrichtung an. a ist eine Schnecke, die in ein Rad b greift, an deren Axe eine lange Schraubenspindel c, die als Führschraube eine halbe, durch Federn angedrückte und mit einem Zeiger versehene Mutter d verschiebt. Hat b 100 Zähne und c 50 Gänge, so können 5000 Umgänge von a gezählt werden.

Dieselbe Vorrichtung kann auch dienen, um die Umgänge auf eine bestimmte Zahl zu beschränken. Denn gesezt, z. B. ein Seilrad an der Welle B (Fig. 229) dürfe nur 12mal umgehen, so hat man bloß zu veranstalten, daß, so wie die Schnecke a 12 Zähne von b verschoben hat, ein Stift c an einen Hebel stößt, der, wie die Figur zeigt, eine Auslösung des Triebriemens oder eine Verschiebung des Griffes i von der Treibrolle t auf die Leerrolle n bewirkt. Mit Hülfe der Schraube o läßt sich der Stift c nach Belieben stellen.

§. 632. Da mit jedem Umgange der Schraube das Rad, in das sie greift, um einen Zahn gerückt und also um 1/36 z. B. umgedreht wird, wenn es 36 Zähne hat, so kann diese Verbindung oft nützlich seyn, um eine Walze oder eine Scheibe in bestimmten Abtheilungen zu wenden. Zu diesem Ende wendet man sie z. B. bei Radschneidemaschinen, Walzenpunzirstühlen, Cannellirmaschinen u. a. an.

Gesezt, in eine runde messingene Scheibe A (Fig. 231) sollen 49 Zähne eingeschnitten werden, so kann dies leicht geschehen, indem man an dieselbe Axe, an der sie befestigt ist, ein bereits geschnittenes Rad von gleich vielen Zähnen b steckt, und dieses nach jedem Schnitte um einen Zahn mittelst der Schnecke c rückt. Die Scheibe wird dann nämlich jedesmal genau um 1/49 des Umfangs gewendet. Zum Einschneiden selbst dient die Fraise d, d. h. ein scharfes raspelartiges Rädchen von Stahl, das schnell durch ein Seilrad und den Wirtel o umgedreht wird und beliebig von der Scheibe entfernt oder ihr genähert werden kann. — Ein ähnliches Rad (oder ein Sperrrad) an einen eisernen Cylinder gesteckt, der der Länge nach gefurcht oder cannellirt werden soll, macht es leicht, demselben in gleicher Distanz eine verlangte Anzahl Furchen zu geben.

Ungleich seltener werden einige andere Verbindungen der Schraube angewendet.

Nicht leicht wird z. B. eine Schraube ohne Ende durch ein Zahnrad umgetrieben, um umgekehrt eine langsame Bewegung in eine ungleich schnellere zu verwandeln. Es müssen nämlich, damit die Reibung nicht allzuhinderlich ist, die Schraubengänge sehr steil, und demnach auch die Radzähne sehr schief eingeschnitten seyn.

Ebenso wird höchst selten eine Schraube durch eine andere in Bewegung gesezt, indem ihre Windungen gegenseitig ineinander greifen.

Nur in wenigen Fällen endlich verbindet man eine Schraube mit einer gezähnten Stange, und dann wohl nur, wenn diese etwa sehr langsam und um Weniges nur hin und her geschoben werden soll.

Elfter Abschnitt.

Sperr- und Stoßräder.

§. 633. Das einfache Sperrrad mit sägeartigen Zähnen (Fig. 60), in die ein Sperrhaken eingreift, ist, wie §. 502 gezeigt worden, eine geeignete Vorrichtung, um die Umdrehung einer Welle bloß nach einer Richtung zu gestatten, nach der entgegengesezten aber unmöglich zu machen. Wellen oder Radaren werden mit einem solchen daher gewöhnlich versehen, wenn das Zurückgehen auf irgend eine Weise schädlich oder gefährlich seyn kann. Bei Winden, Krahnen, Pressen, Treträdern ꝛc., in Uhren und einer Menge anderer Maschinen macht man also von Sperrrädern Gebrauch. Man bringt bisweilen an den Wirteln der Guitarren dergleichen Räder an, damit sie nicht zurückgehen können, u. s. w. Bei Webstühlen, an den Enden der Tuch- und Kettbäume, damit Tuch und Kette sich gehörig spannen lassen ꝛc.

Damit die Wirkung sicherer sey, läßt man oft auf den Sperrhaken (wie Fig. 238) eine Feder drücken, oder man bringt doppelte Sperrkegel (wie Fig. 237) an. *)

---

*) Soll die Umdrehung eines Rades überhaupt und in jeder Richtung gesperrt werden, so bedient man sich oft einer andern Hemmung. Man läßt entweder einen einfachen Schieber oder Haken zwischen die Zähne des Rades einfallen (wie beim gemeinen Leinwebestuhle), oder bedient sich der, Fig. 146 dargestellten Vorrichtung.

Einen ganz andern Zweck kann dieselbe Vorrichtung erfüllen, wenn der Sperrhaken an einem beweglichen Theile angebracht ist. In diesem Falle bewirkt der Haken, daß jener Theil mit umgedreht wird, wenn das Rad nach einer Richtung umgeht, daß er hingegen unbewegt bleibt, wenn das Rad in der entgegengesezten sich dreht. Diese Verbindung kommt z. B. bei Uhren vor, damit sie aufgezogen werden können, ohne auf das Räderwerk zu wirken.

§. 634. Einen noch abweichendern Zweck hat das Stoßrad. (Fig. 61.) Ausser dem Sperrhaken b greift in dasselbe hier noch eine Stoßstange cd. Diese stößt nämlich, indem sie sich hin und her bewegt, das Rad successiv um 1 oder mehrere Zähne weiter, während b fortdauernd das Zurückgehen hindert. Diese Vorrichtung bewirkt demnach, daß ein Rad langsam und ruckweise umgeht, und wird zu diesem Ende sehr häufig angebracht. *)

Wir wollen nur auf den Gebrauch des Stoßrades bei Sägemühlen und mechanischen Webstühlen aufmerksam machen, überhaupt jedoch diese Maschinen etwas näher hier erklären.

Von Brettsägen.

§. 635. Das Zersägen des Holzes ist eine Art Zerreibung. Je dicker der Stamm ist und je breiter der Schnitt (oder die Schränkung des Sägeblattes), desto mehr Kraft wird erfordert. Nach Belidor sägen drei Mann (von Hand) in einer Stunde einen 12″ dicken trockenen Stamm (ein feuchter sägt sich leichter) 5′ lang, und einen 7″ dicken 17′ lang. Im ersten Falle ist also die Schnittfläche 5 □′, im zweiten 10 □′ oder fast doppelt so groß. **)

---

*) Versieht man eine Preßspindel mit einem Stoßrade, so kann, da dieses sehr langsam umgetrieben wird, ausnehmend an Kraft gewonnen werden. Eine solche Presse s. im polyt. J. S. 23, 118.

**) Gewöhnlich arbeiten drei Männer beim Sägen von Hand. Zwei ziehen die Säge abwärts, und einer zieht sie wieder in die

Meist bedient man sich der Wasserkraft, um Stämme in Bretter (und Latten) zu zersägen. Eine gewöhnliche Säge mag per Stunde etwa 50 □′ sägen. Da Zeit beim Zurückführen des Wagens, auf dem der Baum liegt, verloren geht, so kann man 50 Min. eigentliche Arbeit rechnen, und geht der Schnitt 50′ weit oder per Min. 1′, so muß jeder Schnitt, wenn 120 in 1 Min. Statt haben, $^{144}/_{120}$‴ oder etwa $^{5}/_{4}$‴ tief seyn. Und ist der Baum etwas über 1′ dick, so muß die Säge bei jedem Schnitt etwa um 15″ steigen.

Die Einrichtung ist nun wesentlich folgende (Fig. 234):

Das Wasserrad treibt mittelst eines großen Stirnrades ein Getriebe a um, so daß es z. B. 120 Umgänge per Min. macht. An der Axe a sizt eine Kurbel von $7^1/_2$″, so daß bei jedem Umgange das durch eine Lenkstange c damit verbundene Sägeblatt b 15″ hoch auf- und niedergehen muß. Ein Schwungrad d dient überdies zur Egalisirung der Bewegung. Das Sägeblatt ist in einem Rahmen, dem Sägegatter, eingespannt, so daß es nach jedem Schnitt um eine Brettdicke verrückt werden kann. *)

§. 636. Das langsame Fortrücken des Baumes oder des Wagens, auf dem er befestigt ist, wird mit Hülfe der Scheere no, des Stoßrades q des Räderwerkes rst und der Zahnstange h auf der untern Seite des Wagens w erhalten. Die Scheere no bildet nämlich einen um m sich drehenden Winkelhebel, an dessen

---

Höhe. Man rechnet, daß jeder dann gleiche Anstrengung anwenden muß. Da nun beim Aufwärtsziehen beinahe nur das Gewicht der Säge zu überwinden ist, beim Hinabziehen aber dieses vielmehr die Zerreibung unterstüzt, so muß der Widerstand des Holzes (q) 3mal größer seyn, als das Gewicht der Säge oder p. Denn da $q - p = 2p$, so ist $q = 3p$.

*) Damit alle Zähne wirksam werden, muß die Zahnlinie natürlich etwas schief stehen, d. h. der oberste Zahn muß, wenn der Schnitt $^{5}/_{4}$‴ tief seyn soll, um so viel von der senkrechten über den untersten vorstehen.

kürzerem Arme o die Stoßstange p befestigt ist, die das Stoßrad q fortschiebt. Ist n 8mal länger als o, und hebt sich die Gatter um 15″, so wird bei jedem Hube p und also auch q um $^{15}/_{8}$″ fortgerückt. Und ist der Durchmesser von q 3mal größer als der von r, und s 6mal größer als t, so dreht sich t bei jedem Hube 18mal weniger, d. h. nur um $\frac{15}{8 \times 18}$″ oder um $^{5}/_{4}$‴, und die Zahnstange und hiemit der Wagen wird also auch nur um $^{5}/_{4}$‴ vorwärts gerückt, oder genau um die Tiefe eines Schnitts. Ist diese größer oder kleiner, so wird die Stoßstange p bei o weiter oder näher von m befestigt.

Damit die Kurbel beim Heben und Ziehen der Säge ungefähr gleich viel Kraft brauche, muß der Gatter mit der Säge ein beträchtliches Gewicht haben. Damit die Reibung vermindert ist, lauft der Wagen auf Rollen oder Wälzchen.

Ist der Schnitt vollendet, so wird der Wagen entweder von Hand (mittelst einer Kurbel an der Ziehwelle) oder durch Gewichte, oder durch ein besonders kleines, verkehrt stehendes Schaufelrad (auf das man nun Wasser läßt) zurückgebracht.

Je weniger Kraft das Sägen braucht, desto tiefere Schnitte veranstaltet man. Je dünner das Sägeblatt ist (und von je besserm Stahl also), desto leichter ist die Bewegung. Ebenso werden zwei parallele Blätter nicht doppelt so viel Kraft erheischen, als eines, und mehrfache sind daher vortheilhaft. Will man höhere Hübe erhalten, so ändert man die Kurbel.

§. 637. Bei allen diesen Sägen treten die Nachtheile einer Kurbel- und jeder hin- und hergehenden Bewegung ein. Es wird dadurch bedeutend an Kraft verloren. Auch darf wohl darum schon die Geschwindigkeit nicht zu groß seyn. Die Säge endlich schneidet nur beim Niederziehen. Weit wirksamer sind daher die in neuern Zeiten eingeführten Cirkularsägen.

Ein Seil a (Fig. 235) treibt ein Rad c, dessen Umfang ein dünnes kreisförmiges Sägeblatt bildet. Die Rolle b hat mehrere Läufe, um die Schnelligkeit verändern zu können, und

eine Ausrückung ist vorhanden, um die Säge augenblicklich abzustellen. Wie c das dagegen gedrückte Holzstück d durchsägt, zeigt die Figur. Die Säge arbeitet hiemit kontinuirlich; es geht keine Kraft verloren, wie bei obiger, und die Säge kann mit größter Geschwindigkeit umgehen. Eine solche ist auch weit wirksamer,*) weil das Sägeblatt viel dünner seyn kann, so daß weniger Holz verloren geht und auch darum weniger Kraft nöthig ist.

Die Konstruktion großer Kreissägen, deren schneidender Ring 1 — 1½′ breit seyn soll, ist allerdings schwierig; schon kleinere sind aber sehr nützlich, und solche können auch zum Zerschneiden von Metallen dienen.

Gebrauch des Stoßrades an Webstühlen.

§. 638. Beim gemeinen Webstuhle wird von Zeit zu Zeit die Kette nachgerückt und das Gewebe aufgewickelt. Beim mechanischen Webstuhle wird nöthig, daß Beides anhaltend und durch die Maschine selbst verrichtet werde, und selbst bei Handstühlen ist ein solcher Mechanismus vortheilhaft, zumal wenn man sich mechanisch geschlichteter Zettel bedient.

Es braucht zu diesem Ende zwar nur ein Baum, der Tuchbaum, umgedreht zu werden, weil der Zettel dann schon gehörig nachgezogen wird, wofern der Kettbaum gehörig gespannt ist. Zwei Umstände kommen aber hiebei in Betracht. Die Bewegung muß 1) eine sehr langsame seyn; denn hat der Tuchbaum einen Umfang von 10″, und kommen 80 Schüsse auf den Zoll, so muß jener auf 800 Schüsse nur einmal umgehen. 2) Muß derselbe allmählig immer langsamer umgehen, weil, sowie sich Tuch aufwickelt, der Umgang etwas größer wird.

---

*) Zu jeder Mittheilung der Bewegung ist nämlich etwas Zeit erforderlich. Je schneller daher die Säge lauft, desto weniger kann die Bewegungskraft auf das Holzstück überhaupt wirken, und alle wird also bloß auf die Zerreibung, d. h. auf das Zersägen verwendet.

Beides wird (am einfachsten wohl) auf folgende Weise bewirkt: Da mit jedem Schusse die Lade einen Schlag thut, so bringt man an einem Arme derselben (Fig. 236) eine kleine Stoßstange b an, die ein Stoßrad c von 80 Zähnen greift und dieses jedesmal um einen Zahn fortschiebt. An c ist ein Getriebe d, das in ein 10mal größeres Rad e greift, und so daß die Welle f also auf 800 Schüsse einmal umgeht. Gibt man nun der Walze f einen Umfang von 10″, wenn jeder Zahn des Stoßrades 1″ breit ist, so wird f sich auf 80 Schüsse nur um 1″ drehen. — Auf diese Walze f kommt nun der Tuchbaum g, und dieser wird dergestalt durch ein Gewicht p angedrückt, daß er nothwendig durch die Friktion mit umgedreht wird. Auch er wird also auf 80 Schüsse um 1″ sich drehen, und zwar mit derselben Umfangsgeschwindigkeit (480 und 601), wenn er auch allmählig sich mit Tuch füllt und dicker wird.

Jedermann sieht, daß sich dieser Mechanismus auf mancherlei Weise abändern läßt. Oft ist f selbst der Tuchbaum, und die Verlangsamung wird dadurch veranstaltet, daß man die Stoßstange Anfangs mehr und später weniger Zähne auf einmal rücken läßt. Auch mag das Stoßrad zuweilen (wie bei Bandstühlen mit künstlichem Fortzuge) durch eine Schraube ohne Ende ersezt werden.

Umgekehrt kann bei der Einrichtung eines Zählers (631) ein Stoßrad zuweilen dienlicher als eine Schraube ohne Ende seyn, zumal um hin- und hergehende Bewegungen (wie die einer Presse, einer Pumpe u. a.) zu zählen.

Bringt man z. B. an einer Pumpe eine Stoßstange n (Fig. 232) an, die bei jedem Hube das Rad o um 1 Zahn rückt, hat dieses Rad o 60 Zähne und ist an der Axe desselben eine Schnecke p, die in das Rad q mit 50 Zähnen greift, so kann dieses (mit einem Zeiger versehen) bis auf 50 × 60 oder 3000 Hube zählen. — Ein einfaches Stoßrad mit einer Zeigerscheibe findet sich bei neuern lithographischen Pressen, um die Abdrücke zu zählen. Zu den Stoßrädern gehören ferner die Steigräder in den Uhren (505) und einige andere.

§. 639. Zuweilen endlich wendet man auch Stangen mit stoßradartigen Zähnen an. Ein merkwürdiger Mechanismus dieser Art kommt z. B. bei einer gewissen Spinnmaschine (dem Flyroving) vor. Es handelt sich darum, eine Stange ab (Fig. 233) von Zeit zu Zeit und zwar um eine immer kleinere Distanz in der Richtung des Pfeils fortzurücken. Um dies zu bewirken, versieht man sie mit zwei Reihen verschränkt stehender Stoß- (oder Hemm-) Zähne, in die zwei Sperrhaken i, n greifen, und hängt bei a ein Gewicht p an. Wird nun, so oft die Stange rücken soll, die Zugstange q auf- oder abwärts gezogen, so muß jedesmal ein Sperrkegel aus- und der andere eingerückt werden, und jedesmal daher die Stange ab bis zum folgenden Zahne durch das Gewicht fortgezogen werden. Steht wie in der Figur der Kegel i bei 3, so wird, hebt sich q, i frei, und der Zahn 4 rückt bis zum Kegel n, u. s. w.

§. 640. Bei Schlaguhren kommen verschiedene sehr sinnreiche Arten von Hemmrädern vor, die Staffelräder heißen, und deren wir hier der Verwandtschaft wegen gedenken. Wir müssen uns jedoch begnügen, nur die Vorrichtung des in den einfachsten Schlaguhren angewendeten Staffelrades zu erklären. (Fig. 264.)

Das Schlagen an sich wird dadurch veranstaltet, daß ein um ein Walzenrad b geschlagenes Gewicht p eine Scheibe c dreht, an welcher 6 Stifte d sind, die, so wie sie bei dem Hebel e vorbeikommen, diesen heben und dadurch das Anschlagen eines Hammers an eine Glocke bewirken. *)

Eine solche Uhr muß jedoch in 12 Stunden nur 72 Schläge thun, nach der ersten nämlich einen, nach der zweiten zwei Schläge und sofort. Diese Vertheilung wird nun folgendermaßen zu Wege gebracht. An der Axe von b ist noch ein Drilling mit 6 Stäben, der in ein Rad A von 72 Zähnen greift,

---

*) Dieses Walzenrad steht überdies durch ein Räderwerk mit einem Windfange (522) in Verbindung, der die Geschwindigkeit des Schlagens mäßigt. Eine solche Vorrichtung kann dann auch als Wecker dienen.

an diesem aber zugleich eine Scheibe mit 12 Einschnitten 1, 2, 3 ꝛc., in welche successiv ein Haken h einfällt, der sodann alle Bewegung von A und hiemit die des ganzen Schlagwerks hindert.

Die Einrichtung ist nun getroffen, daß, so oft der Minutenzeiger einmal herumgekommen ist und also die Stunde schlagen soll, jener Haken h auf einen Augenblick aus dem Einschnitte wieder herausgehoben wird, so daß sofort A sich zu drehen und die Glocke zu schlagen anfängt, bis der Haken wieder in den nächsten einfällt. Sind demnach 12 Einschnitte angebracht und diese so vertheilt, daß immer 1 Zahn mehr umgehen kann, so wird auch das Schlagwerk von Stunde zu Stunde einen Schlag mehr thun. Ist z. B. der Haken (wie in der Figur) in dem Einschnitte 6, und wird er ausgelöst, so wird das Rad A, bis h in den folgenden Einschnitt 7 einfallen kann, um 6 Zähne sich drehen können, und die Uhr also 6 schlagen.

Zwölfter Abschnitt.

Von den Organen zur Umwandlung einer rotirenden Bewegung in eine hin- und hergehende.

§. 641. In unzähligen Fällen handelt es sich darum, durch eine stetige kreisförmige oder rotirende Bewegung eine geradlinige und hin- und hergehende hervorzubringen. Bei dieser Umwandlung geht zwar immer mehr oder weniger Kraft verloren; denn da jeder in Bewegung gesezte Körper in derselben Richtung sich fortzubewegen strebt, so ist stets ein gewisser Aufwand an Kraft erforderlich, so oft sich die Richtung seiner Bewegung verändern soll, und ein um so größerer, je größer sein Bewegungsmoment ist. Solche Umänderungen sind daher stets nachtheilig zu nennen, sehr oft aber sind sie zu unsern Zwecken unerläßlich.

Die gebräuchlichsten Organe, um vermittelst einer stetigen kreisförmigen Bewegung eine geradlinige hin- und hergehende hervorzubringen, sind: die Kurbelwelle, die Kurbelscheibe, die Daumwelle und die erzentrische Scheibe.

§. 642. 1) Die Kurbelwelle Fig. 239 besteht aus einer Kurbel a, die einerseits mit der Axe einer Welle b unbeweglich verbunden ist, und an welche anderseits eine Zugstange c angelenkt ist. Wird die Welle gedreht, so muß die Kurbel umgehen, und bei jedem Umgange die Stange c hin- und hergezogen wer-

den. Ebenso aber muß offenbar ein Hin- und Herziehen der Stange das Umgehen der Welle bewirken. Diese Verbindung kann daher nicht nur dienen, eine rotirende Bewegung in eine hin- und hergehende, sondern auch umgekehrt, um eine geradlinigte hin- und hergehende in eine stetigumlaufende zu verwandeln; und zu beiden Zwecken wird sie häufig angewendet.

§. 643. Nach dem, was früher schon über diese Verbindung bemerkt worden (492), sieht man leicht ein:

a) Daß das eine Ende der Kurbel völlig unbeweglich mit der Welle verbunden, das andere (die Warze) beweglich hingegen an der Zugstange angelenkt seyn muß.

b) Daß die Zugstange stets um die doppelte Kurbellänge verschoben wird, und daß die Länge der Kurbel sich daher genau nach der Größe des Schubes, die zu erhalten ist, richten muß.

c) Daß die Zugstange nicht in einer und derselben geraden Linie verschoben wird, und die Richtungen um so geneigter werden, je länger die Kurbel und je kürzer die Zugstange ist. Soll daher eine in Einer geraden Linie hin- und hergehende Bewegung erhalten werden, so ist die erste Zugstange an eine zweite anzulenken, deren Abweichung von der geraden Linie durch besondere Vorrichtungen verhindert wird.

So bewegt sich der Sägegatter (Fig. 234), weil er in zwei Fugen läuft, durchaus senkrecht, während die eigentliche Zug- oder die Lenkstange c den veränderlichen Richtungen der Kurbel folgt. Andere Einrichtungen, die keiner nähern Erläuterung bedürfen, sind aus den Fig. 231, 242 ersichtlich. Wo immer möglich, sind hier Rollen anzuwenden, um die Reibung zu vermindern. In 242 läuft eine Rolle b in einem senkrechten Rahmen, und gestattet demnach, daß die Pumpstange a senkrecht, die Zugstange c hingegen in schiefer Richtung hin- und hergehe, da beide an b eingelenkt sind.

d) Daß je nach der Stellung der Kurbel (Fig. 47) der Winkel, den sie mit der Stange macht, sich ändert; daß hiemit

die Kraft, es sey, daß die Kurbel die Stange oder diese jene treibe, nur in zwei Punkten ihre volle Wirkung thun kann, daß bei allen andern Lagen hingegen mehr oder weniger Kraft für den Effekt verloren geht und derselbe in zwei Punkten sogar = 0 seyn muß, und daß daher entweder die Welle an sich eine gewisse Schwungkraft besitzen, oder aber, daß an derselben ein eigentliches Schwungrad (wie x, Fig. 242) angebracht werden muß.

e) Daß die Stelle einer Kurbel auch verkröpfte Stangen (a Fig. 239) vertreten und mit Hülfe derselben, wie Fig. 240, mehrere Stangen zugleich in Thätigkeit kommen können. Fig. 255 zeigt die Einrichtung einer sogen. Stangenkunst, wie sie bei Bergwerken oft vorkommt.

§. 644. Beim Handspinnrad (Fig. 270) sezt der Fuß, mit dem man auf die Pedale a (einen Hebel dritter Art) tritt, mittelst der Zugstange (dem sogen. Knecht) b eine kleine Kurbel c, und dadurch ein Schnurrad d in Bewegung. Da die Kraft des Fußes kaum während der Hälfte eines Umganges wirkt, so muß hier um so mehr die Schwungkraft des Rades zu Hülfe kommen. Dieses muß daher vorerst mit der Hand umgetrieben werden, so daß Anfangs das Rad die Pedale bewegt, und der Fuß muß dieser Bewegung folgen, bis er dann selbst, von der Schwungkraft des Rades unterstüzt, den Umschwung bewirken kann. —

Ist a (Fig. 242) die Kolbenstange einer Dampfmaschine, so kann sie mit Hülfe einer bei b angelenkten Zugstange (Bleuels) c eine Radwelle umtreiben, wenn an dieser ein Schwungrad x von gehöriger Wirksamkeit angebracht ist.

Die Ruderräder eines Dampfschiffes, so wie die Räder eines Dampfwagens werden gewöhnlich durch zwei Kolbenstangen umgetrieben, die nacheinander wirken und mittelst Lenkstangen mit zwei Verkröpfungen der Räderaxe verbunden sind. *)

*) Ist der Kolbenschub 14″ lang, so muß die Verkröpfung genau 7″ tief seyn, spielt die Maschine in 1 Min. 80mal, so gehen

Bei mechanischen Webstühlen dienen umgekehrt zwei Verkröpfungen aa (Fig. 246) an der Axe der Treibrolle b, um zwei Stangen cc hin und her zu ziehen, und dadurch die Lade d in Bewegung zu setzen.

Ebenso wendet man oft eine solche verkröpfte Stange an, um mehrere Pumpen zu treiben. Fig. 245 zeigt eine andere Vorrichtung, um mittelst einer Kurbelwelle zwei Paar Pumpstangen in Bewegung zu setzen.

Beim Bandstuhle kommt eine eigenthümliche Anwendung der Kurbel vor. Ein Kurbelzapfen n (Fig. 248) wird nicht kreisförmig umgedreht, sondern mittelst der Schnüre a, b, die an der Rolle o befestigt sind, wechselsweise links und rechts geworfen. Es wird dadurch eine Stange (der Rechen) pq rasch links und rechts verschoben, so daß durch die Zähne x die Schützen z hin und her geschnellt werden.

Bei manchen mechan. Webstühlen dient ein ähnlicher Mechanismus zum Hin- und Herwerfen des Schiffleins. Durch abwechselndes Ziehen der Schnüre a und b (Fig. 247) wird ein Stab c rasch links und rechts gedreht, und so die Schnur x und damit die Treiber hinter dem Schifflein bald nach der einen, bald nach der andern Seite angezogen.

Auf eine sehr einfache Weise ist mittelst einer Verkröpfung ein Mechanismus herzustellen, um Tücher ꝛc. zurecht zu legen. Wird nämlich durch eine solche (Fig. 243) eine Tafel a hin- und hergezogen, so muß ein über diese Tafel hinabgleitendes Tuch von selbst sich bei b regelmäßig übereinander legen.

§. 645. 2) Unter einer Kurbelscheibe verstehen wir ein Rad oder eine Scheibe a (Fig. 249), auf deren Fläche ein Zapfen b sitzt, an den eine Stange c angelenkt ist. Offenbar wirkt eine solche Scheibe wie die vorige Vorrichtung. Sie kann auf gleiche Weise dienen, um eine rotirende Bewegung in eine hin- und

---

auch eben so oft die Wagenräder um; und haben diese einen Umfang von 12′, so legt der Wagen also per Min. einen Weg von 960′ zurück, von 1 Stunde in 14 — 15 Min.

hergehende zu verwandeln, sowie umgekehrt diese in jene. Von der eigentlichen Kurbel unterscheidet sie sich dadurch, daß man den Zapfen b leicht an verschiedenen Stellen einsetzen und so nach Gutfinden die Kurbellänge abändern kann; daß die Scheibe, zumal wenn sie dick und schwer ist, an sich ein Schwungrad bildet; daß a eine Seilrolle oder ein Zahnrad seyn und also unmittelbar umgetrieben werden kann u. a.

So wird z. B. der gemeine Bandstuhl gewöhnlich dadurch in Bewegung gesezt, daß der Arbeiter mittelst einer horizontalen Werkstange zu beiden Seiten des Stuhls eine an eine solche Kurbelscheibe*) gehende Treibstange hin- und herzieht.**)

Umgekehrt dient z. B. beim Seidenhaspel (Fig. 250) eine solche Scheibe, um eine Stange (den Fadenleiter) hin- und herzurücken.

Beim Abhaspeln der Kokons müssen sich nämlich die Fäden, weil sie sonst aneinander klebten, einander auf dem Haspel durchkreuzen. Es geschieht dies, indem man den Faden durch einen auf dem Stabe a steckenden Ring b leitet, und veranstaltet, daß a sich beständig seitwärts verschiebe, jedoch nicht in derselben Zeit, in der der Haspel h einmal umgeht. Trägt man nämlich die Bewegung des Haspels h auf den Fadenleiter a durch die Räder n, o, p, q über, und haben n und p 22 Zähne, o 25 und q 35, so macht h 22 × 22 oder 484 Umgänge, während a 25 × 35 oder 875mal hin- und hergeht; und nach 484 Umgängen werden sich hiemit erst zwei Fäden gerade auf derselben Linie wieder um den Haspel legen. Bei den Kardmaschinen wird gewöhnlich der Abstreifkamm durch eine schnell umlaufende Kurbelscheibe in Bewegung gesezt.

Eine Kurbelscheibe x (Fig. 244) kann endlich durch die Verbindungsstange z ihre Bewegung leicht auf eine andere y und

*) Und diese Scheibe macht man dick und schwer, damit sie zugleich als Schwungrad wirke.

**) Bei den ersten Dampfwagen war die Triebstange mit einer Radspeiche verbunden.

in eine ziemliche Entfernung übertragen und die Stange z sogar mehrere Scheiben gleichzeitig drehen.

§. 646. 3) Daumwellen.

Die Daumwelle und die excentrische Scheibe unterscheiden sich von den vorigen Organen, daß die Bewegung stets von ihnen ausgeht; die erste aber von der zweiten, daß diese ununterbrochen auf denjenigen Körper wirkt, der dadurch hin- und herbewegt werden soll. Die ovale Scheibe Fig. 53 ist deßhalb nicht als eine Daumwelle mit 2 Daumen zu betrachten. Ueberdies erheischen beide die Mitwirkung einer zweiten Kraft (wie die einer Feder oder der Schwere) in entgegengesezter Richtung.

Wie die Daumwelle wirkt und demnach beschaffen seyn muß, ist bereits (§. 494) erklärt worden, und von der üblichsten Anwendung derselben zum Heben von Stampfern, Hämmern u. dgl. wird im folgenden Abschnitt die Rede seyn.

Daumwellen oder ähnliche Organe eignen sich indessen noch zu manchen andern Zwecken.

Durch solche werden z. B. oft Blasbälge, Pumpstangen, Drahtzangen, Metallscheeren u. dgl. in Bewegung gesezt.

Fig. 253 stellt den Gebrauch bei großen Blasbälgen vor. Zwei Bälge stehen neben einander und werden wechselsweise gezogen. Während ein Daumen p den Blasebalg a herabdrückt, zieht das Gegengewicht y den andern hinauf, und während q den Balg b herabgehen macht, zieht x den ersten wieder in die Höhe. Oft sind auch beide Bälge durch Ketten an einem Wagebaum so verbunden, daß (ohne Gegengewichte) der eine stets steigen muß, während der andere durch die Daumwelle herabgedrückt wird. *)

§. 647. Wie eine Daumwelle eine Drahtzange hin- und herschieben kann, ist aus Fig. 252 ersichtlich. Eine elastische Stange x schnellt die Stange nach jedem Zuge wieder in ihre

*) Die Daumen (oder Wellfüße) agiren hier mittelst Ketten auf die Hebelatten an den Bälgen. Oft aber drücken sie unmittelbar auf dieselben.

frühere Lage zurück. Fig. 268 zeigt die Anwendung auf eine Pumpe. Fig. 269 die auf ein Gestänge n, das hin- und hergezogen werden soll. Die Stange o wird hier durch eine Feder r beständig gegen die Daumwelle p angedrückt.

Eine merkwürdige Art von Daumwellen wendet man bei einigen künstlichen Webstühlen (z. B. bei Bandstühlen) an, um eine beträchtliche Anzahl Treten (Pedale) in einer bestimmten Ordnung spielen zu machen. Namentlich werden dadurch die sogen. Spitzen an Bändern hervorgebracht.

Noch künstlicher waren die Daumwalzen (oder Trommeln), die man sonst wohl zur Hervorbringung geblümter Zeuge gebrauchte. Die über dem Stuhle angebrachte Walze hatte ein Stoßrad, das bei jedem Schusse um einen Zahn gerückt wurde; und so kam immer eine neue Reihe von Stiften oder Däumlingen in Thätigkeit, so daß gerade diejenigen Litzfäden gehoben wurden, die zur Bildung des Musters bei jedem Schusse erforderlich waren. Jetzt sind freilich diese Walzen durch einen weit vortheilhaftern Mechanismus (den Jacquart, §. 661) verdrängt.

Aehnliche Walzen, mit eingesetzten Messingstiften (von verschiedener Dicke), um eine große Anzahl von Tangenten in einer bestimmten Ordnung zu heben oder herabzudrücken, kommen aber bekanntlich bei allen Drehorgeln, Musikuhren ꝛc. vor. Eine nähere Erläuterung dieser Vorrichtungen müssen wir indessen, weil sie zu viele Zeichnungen erforderte, hier übergehen.

§. 648. 4) Nicht minder häufig macht man von excentrischen Scheiben Gebrauch. Wir begnügen uns, einige wenige Beispiele anzuführen, da umständlich genug (§. 496) gezeigt worden, wie vermittelst dieses Organs eine hin- und hergehende Bewegung und die mannichfaltigste Modifikation derselben hervorgebracht werden kann.

Aus Fig. 254 ersieht man, wie eine kreisrunde Scheibe, die sich um eine excentrische Axe a dreht, eine Stange b c stetig

hin- und herschieben muß. Diese Vorrichtung kommt namentlich bei Seidenfilatorien vor. *)

Ebenso dient bei vielen Dampfmaschinen (Fig. 256) eine an der Axe a exzentrisch befestigte Scheibe b, um das Gestänge c und dadurch die Kurbel d bei jedem Umgange vor- und rückwärts zu ziehen.

Denselben Effekt hat die Einrichtung Fig. 257, und gibt man der Scheibe b eine andere Gestalt, so kann leicht dadurch eine beliebige ungleichförmige Drehung der Kurbel erhalten werden. **)

Aehnlicher Scheiben bedient man sich häufig, so wie der Daumwellen, um mechanisch die Treten eines Webstuhls zu bewegen. Da hier gewöhnlich 2 Scheiben vorhanden sind, die sich durchkreuzen (wie Fig. 263), so pflegt man sie in diesem Falle Kreuze zu nennen. —

§. 649. Beim gemeinen Flachsspinnrade muß der Faden öfter über ein anderes Häkchen des Krebses (der Gabel) geschlagen werden, damit er sich auf der Spule gehörig vertheile. Dies ist entbehrlich und doch die Vertheilung auf die ganze Spule weit gleichmäßiger, wenn (wie Fig. 270) die Spule h auf der Spindel und zwischen der Gabel i langsam hin- und herverschoben wird. Und dies wird hier veranstaltet, indem an der Axe v eine Schnecke langsam ein Rad o und dadurch eine Herzscheibe p umdreht und diese die Stange q verrückt. r ist eine Feder, die leztere beständig an das Excentrikum andrückt. Hat o 120 Zähne, so macht auf eben so viele Umgänge des Schnurrades c die Garnspule nur einen Hin- und Hergang.

Derselbe Mechanismus wird bei Spulmaschinen und Drosselmaschinen (wie Fig. 261 zeigt) angewendet, um 2 Reihen Spulen abwechselnd auf- und nieder zu bewegen.

---

*) Sie unterscheidet sich von der Fig. 248, daß leztere schlagweise, jene kontinuirlich und langsam wirkt.

**) S. meine Dampfmaschinenlehre, 2te Auflage, S. 272.

§. 650. Schließlich erwähnen wir noch einiger verwandter Mechanismen.

Fig. 259 zeigt, wie die Warze x einer Kurbelscheibe ohne Lenkstange eine Zugstange a hin- und herschieben kann. Das breite Endstück derselben hat nämlich einen Schlitz b b, in den die Warze x eingreift, und zwei Paar Rollen c c verhindern überdies die Stange, von der senkrechten Linie abzuweichen.

Bei Fig. 258 enthält die um ihren Mittelpunkt sich drehende Scheibe eine excentrische Rinne b, welche einen an der Stange c sitzenden Zapfen d aufnimmt, und dadurch bei ihrer Umdrehung die Stange hin- und herzieht.

Fig. 266 zeigt, wie ein Cylinder A, während er umläuft, langsam längs seiner Axe hin- und hergerückt werden kann. Diese Vorrichtung kommt bei Schleifmaschinen der Kardenleder vor. *) A ist hier eine mit Schmirgel bedeckte Walze, a sezt A in Bewegung, und das lange Getriebe b ein großes Zahnrad c. An der Axe c ist eine Scheibe d mit einem schief darum geführten Vorsprung i d, und dieser rückt bei jedem Umgange, da er in den Griff f eingreift, die Walze A hin und her. Da die ganze Axe verschoben wird, so werden es auch die Seilrollen a; solche gestatten jedoch ohne Schwierigkeit diese Verrückung.

Bei dieser Maschine ist noch ein zweites Excentrikum, das Herz n (Fig. 265), angebracht. Indem dieses die Gabel m und das Gestänge o p verschiebt, bewirkt es, daß die beiden senkrechten Stangen q langsam und wechselsweise auf- und niedergehen.

*) S. meine Darstellung der Baumwollenspinnerei. Basel 1829. Tafel 6.

Dreizehnter Abschnitt.

Von den Maschinen, die sich auf den Stoß fallender Körper gründen.

§. 651. Jeder Körper erlangt, indem er fällt, eine gewisse Geschwindigkeit, und muß daher, wenn er einen andern ruhenden trifft, gegen diesen einen Stoß ausüben. Je höher er herabfällt, desto größer wird seine Geschwindigkeit und desto kräftiger muß der Stoß seyn. Diese Kraft kann nun in vielen Fällen benuzt werden. Um Pflastersteine z. B. fest einzuschlagen, bedient man sich schwerer Stämpfel, die man in die Höhe hebt und dann auf die Steine fallen läßt. Gewöhnlich wendet man aber, um einen größeren Effekt zu erhalten oder um Elementarkräfte benutzen zu können, allerlei Fallmaschinen an. Die gebräuchlichsten sind die Rammen, die Poch- und die Hammerwerke.

A. Von den Rammen.

§. 652. Unter Rammen versteht man Maschinen, die namentlich zum Einschlagen von Pfählen dienen. Ein schwerer Kloß aus zähem Holz oder Metall (der Rammkloß oder Bär) wird an einem Seil wiederholt in die Höhe gezogen und darauf wieder fallen gelassen, so daß er gegen den einzuschlagenden Pfahl stößt. Damit er immer in derselben Richtung sich bewege, läuft er zwischen zwei Balken, den Laufruthen. Gibt man diesen

eine schiefe Lage, so können auch schiefstehende Pfähle eingeschlagen werden.

Je nachdem der Kloß unmittelbar durch Menschen aufgezogen wird oder aber mittelst mechanischer Vorrichtungen, unterscheidet man Handzugrammen und Kunstrammen.

Fig. 274 zeigt eine Handzugramme; a ist der Pfahl, b der Rammkloß, c eine Laufruthe, d das Rammseil, das über die Rolle e geht und an dessen Ende die Zugseile f befestigt sind, an denen die Arbeiter ziehen, g ist die Schwelle, h die Hinterruthe, die zur Befestigung dient und mit einer Leiter versehen ist, auf der man zu der Rolle e gelangen kann.

Wie leicht zu erkennen, kann der Kloß nur um so viel steigen, als die Arbeiter die Zugseile herabzuziehen vermögen, also höchstens um 3 bis 4′. Geschieht das Heraufziehen mit großer Heftigkeit, so mag der Kloß wohl noch 1—2′ höher geschnellt werden, allein um desto mehr Kraft und Anstrengung ist nöthig. Damit also der Kloß einen bedeutenden Effekt habe, muß er sehr schwer seyn, und meist wenigstens 4 Ztr. wiegen, und da der Aufzug in etwa 1 Sek. stattfinden soll, so kann 1 Mann (obschon er sogleich wieder etwas ausruht) nur 1/3 Ztr. ziehen; es werden daher für einen solchen Kloß wenigstens 12 Mann und zwar besonders kräftige erfordert, und überdies ein Commandant, da alle Bewegungen ganz gleichzeitig statt haben müssen.

Gewöhnlich läßt man die Leute etwa 25 Schläge hintereinander thun (eine Hitze), wozu 1—1¼ Min. erfordert werden, und dann sie etwa 3 Min. ruhen, so daß auf 1 Stunde etwa 14 Hitzen kommen. Dieselben Arbeiter können aber täglich nur 3 oder 4 Stunden diese Arbeit aushalten, so daß der mechanische Effekt des Menschen bei dieser Verwendung ziemlich gering ist. Dies rührt hauptsächlich daher, daß selbst kräftige Leute sich übermäßig dabei anstrengen müssen, und dann, weil die Arbeiter in schiefer Richtung an den Seilen f ziehen müssen, wodurch wenigstens 1/7 der Kraft verloren geht. Aus mehreren Gründen aber läßt sich nicht wohl die Zahl der Arbeiter vermehren.

§. 653. Bei den Kunstrammen fallen diese Uebelstände weg. Der Bär wird nicht unmittelbar in die Höhe gezogen, das Zugseil d wird z. B. wie Fig. 275 auf eine Welle n aufgewunden, und zwar durch Leute, die an den Kurbeln k arbeiten. Hat also m siebenmal mehr Zähne als l, und ist der Halbmesser von k dreimal größer als der von n, so macht der Arm des Arbeiters 21′, während nur 1′ aufgewunden wird, und in demselben Verhältnisse wird daher an Kraft gewonnen und an Geschwindigkeit verloren.

Bei der Vorrichtung Fig. 277 wird das Seil auf den Korb p aufgewunden, und 8 oder mehr Männer drehen denselben an den Kreuzarmen q um. Auch hier wird das Drei- oder Mehrfache an Kraft gewonnen, und überdies können die Arbeiter auf eine vortheilhaftere Weise, und ohne daß sie sich augenblicklich übermäßig anstrengen müssen, wirken.

Leicht lassen sich noch andere Einrichtungen denken, und auch solche, wo Pferde ꝛc. den Zug verrichten.

Offenbar haben die Kunstrammen den wesentlichen Vortheil, daß man die Höhe des Falls und das Gewicht des Klotzes fast beliebig vermehren kann. Bei den ersteren ist ein Klotz von mehr als 5 Ztrn. und ein Fall von mehr als 5′ kaum möglich, bei diesen hingegen kann sehr wohl ein Klotz von 12 Ztrn. auf 15—20′ Höhe gehoben werden, und zwar, wenn es nöthig ist, mit wenigen Leuten. Ferner kann bei diesen Maschinen die Arbeit ununterbrochener fortgehen und der Mensch anhaltender arbeiten und einen viel größern Nutzeffekt hervorbringen. *)

Es ist jedoch nicht zu übersehen, daß 1) die Schläge dann langsam aufeinander folgen, was in vielen Fällen ein bedeutender Uebelstand seyn kann, und 2) daß diese Rammen zusammengesezter sind und mehr Raum erfordern.

Gewöhnlich ist eine einfache, aber sinnreiche Einrichtung vorhanden, durch welche ein Haken, wenn man das Zugseil

---

*) Wir haben nämlich gesehen, daß bei jeder übermäßigen Anstrengung eines Menschen oder Thieres der Totaleffekt vermindert wird.

herunterfallen läßt, von selbst den Kloz ergreift, und durch die er ebenso den lezteren fallen läßt, sowie er bis zu einer gewissen Höhe gehoben ist. Ferner ist eine Einrichtung nöthig, um das Zurückgehen der Welle während des Falls möglich zu machen, und Sperrräder, um dieses während des Zugs zu verhindern.

§. 654. Man schlägt die Pfähle so lange ein, bis sie nicht mehr weichen. Ihr Widerstand ist dann der Kraft des Stoßes gleich, und eine solche Last vermögen sie hiemit nachher auch zu tragen.

Wollen wir also die Wirkung der Ramme beurtheilen, so fragt es sich: 1) welchem Druck der Stoß eines Rammklotzes, wenn er von einer gewissen Höhe herabfällt, gleichzusetzen ist, und 2) wie derselbe mit einer andern Fallhöhe sich verändert.

Ueber beide Punkte sind die Mechaniker noch nicht einverstanden; am meisten Zutrauen scheinen aber die Versuche von Rondelet zu verdienen. Nach ihm ist der Stoß eines 1′ hoch herabfallenden Körpers dem 11—12fachen Drucke seines Gewichts gleich zu stellen, und wächst derselbe bei einem höhern Falle im Verhältnisse der Endgeschwindigkeit (§. 72), d. h. sowie die Quadratwurzeln der Fallhöhe.

Ein Kloz von 5 Ztrn., 4′ hoch fallend, hätte demnach eine Kraft $= 5 \times 11\frac{1}{2} \times 2 = 115$ Ztr.

Ein Kloz von 8 Ztrn., 9′ hoch fallend, hat eine Kraft $= 8 \times 11\frac{1}{2} \times 3 = 276$ Ztr.

Und ein Pfahl, der solche Stöße erhalten, ohne zu weichen, könnte hiemit 276 Ztr. tragen.

Es hat also ein Rammkloz von 8 Ztr., der 5′ hoch fällt, gerade so viel Kraft, als einer von 4 Ztr., der 20′ hoch fällt. Da nun aber, um diesen zu heben, unstreitig zweimal mehr Kraft erfordert wird, so erhellt, daß es weit vortheilhafter ist, um eine stärkere Wirkung zu erzielen, das Gewicht des Bären, als aber die Fallhöhe zu vermehren. *)

*) Aus eben diesem Grunde folgern aber andere Mechaniker, daß die Kraft nothwendig mit der Fallhöhe (und nicht im Verhältniß

Von ähnlichen Fallmaschinen macht man zuweilen auch zu andern Zwecken Gebrauch. Man bedient sich einer solchen z. B., um alte gußeiserne Gefäße oder Stangen zu zerstückeln. Eine Fallmaschine ist ferner die Wippe der Nadler, mittelst welcher die Köpfe der Stecknadeln befestigt werden.

B. Stampf- und Hammerwerke.

§. 655. Man versteht darunter allerlei mechanische Vorrichtungen, wo vermittelst einer mit Daumen besezten und durch einen Motor umgetriebenen Welle Stampfer oder Hämmer in Bewegung gesezt werden.

Man kann drei Arten solcher Maschinen unterscheiden: eigentliche Stampfwerke, Stampf-Hammerwerke und eigentliche Hammerwerke.

1) Von den Stampfwerken.

§. 656. Bei den Stampfwerken werden eine mehr oder weniger große Anzahl senkrechter Stampfer abwechselnd gehoben, damit sie, wenn sie wieder niederfallen, allerlei Substanzen zerstoßen oder zermalmen.

Dergleichen Stampfwerke finden sich in den Oelmühlen zum Zermalmen der Oelsamen, in den Pulvermühlen zum Zerreiben und Vermengen der Schießpulvermaterialien, in den Lohmühlen zum Zerhacken der Gerberinden, in Bergwerken zum Zerpochen der Erze und Steine u. s. w.

Die Materien, die zerstampft werden sollen, kommen in meist eiförmige Vertiefungen, die in einem starken hölzernen Baum, dem Löcherbaum oder Grubenstock a (Fig. 279), eingehauen

---

der Quadratwurzel nur) wachsen müsse, und daß hiemit die Kraft des Stoßes, sowie hier im Quadrate der Endgeschwindigkeit, so überhaupt bei beschleunigter Bewegung im Quadrate der Geschwindigkeit wachse. Merkwürdig ist, daß Rondelets direkte Versuche genau der andern Theorie entsprechen, und daß sie durch keine sonstigen widerlegt ist.

sind. In jedes Loch fallen bald ein, bald mehrere Stampfer b. Diese Stampfer sind viereckige Balken von starkem Holz (Buchen, Ahorn), meist 8, 10 oder mehr Fuß lang, und je nach ihrer Bestimmung unten oft mit Eisen beschlagen oder mit Kerben oder Messern (wie bei den Lohstampfen) versehen.

Damit sie stets senkrecht bleiben, laufen sie zwischen zwei Paar Scheidelatten c und d.

Jeder Stampfer wird gewöhnlich gehoben, indem die Daumen f der Welle A einer an jenem angebrachten Hervorragung oder Hebelatte e begegnen, selten nur, indem sie in einen Schlitz eingreifen und so direkt den Stampfer heben.

Gewöhnlich soll jeder Stampfer bei jedem Umgang der Welle zwei- oder dreimal gehoben werden; die Welle muß also für jeden 2 oder 3 Daumen haben, und 24 oder 36, wenn sie z. B. 12 Stampfer bewegen soll.

§. 657. Nur die Hebung der Stampfer erfordert Kraft, und zwar um so viel mehr, je schwerer der Stampfer ist und je schneller er gehoben werden soll. Ueberdies aber muß seine Reibung an den Scheidelatten überwunden werden. Eine solche hat nämlich immer statt (wenn die Daumen nicht in einer Schlitze wie Fig. 267 eingreifen), weil der Schwerpunkt des Stampfers, sowie er in die Höhe gezogen wird, senkrecht unter dem Angriffspunkte des Daumens zu liegen, und der Stampfer daher eine schiefe Stellung anzunehmen streben wird. Der untere Theil der Stampfer wird demnach an die linke Latte c und der obere an die rechte Latte d andrücken. Dieser Druck wird jedoch um so kleiner seyn, je tiefer verhältnißmäßig der Schwerpunkt unter den Angriffspunkt fällt, und die Reibung mögen überdies Rollen mindern.

Da Kraft nur während des Aufhebens nöthig ist (und bei Tangenten überdies nicht während des ganzen Hubs dieselbe), so müssen alle Stampfer nicht zugleich, sondern vielmehr nacheinander angegriffen werden. Man vertheilt daher die Daumen in 2 oder 3 schräge Linien auf die Welle. Hat diese 36 Daumen,

so zeichnet man auf den Umfang 36 gerade Linien und sezt auf jede 1 Daumen.

Die Daumen sind entweder flach oder (epicycloidisch) gekrümmt. Leztere sind indessen, da immer doch mehrere zugleich wirken und dadurch Ungleichheiten ausgeglichen werden, von keinem besonderen Nutzen; flache aber, besonders bei zweihübigen Wellen, sehr bequem, weil dann ein einziger durch die Welle gesteckter Stab beide Daumen bilden kann. *)

§. 658. Die Welle wird so gestellt, daß ihr Mittelpunkt um Weniges unter der Horizontallinie der Hebelatte bei ihrer tiefsten Stellung liegt, und daß also der Stampfer angegriffen wird, wenn der Daumen e (Fig. 276) horizontal unter die Hebelatte f zu liegen kommt. Es ist klar, daß der Stampfer so lange gehoben wird, bis e den Bogen nm beschrieben hat, indem bei n der Daumen die Hebelatte verlassen muß. Eben so klar ist, daß ein zweiter Daumen nicht eher bei m erscheinen darf, als bis der Stampfer Zeit gehabt, herabzufallen, und diese hängt von der Höhe ne ab. Der Hubwinkel nom muß also immer weit kleiner seyn, als der, um den die Daumen von einander abstehen.

Ein Körper fällt durch 15′ in 1 Sekunde, und die Fallzeiten verhalten sich (§. 73) wie die Wurzeln der Fallhöhen. Ist ne also = 1′, so ist $\sqrt{15} : \sqrt{1} = 3{,}8 : 1 = 1 : 1/4$. Es bedarf der Stampfer also fast 1/4 Sek. zum Fall, und machte die Welle 1 Umgang in 1 1/2 Sek., so müßte sie 1/6 Umgang oder einen Weg von 60° machen, bloß während der Stampfer fiele. Bei schnellem Umdrehen der Welle wird aber der Stampfer noch um mehrere Zolle höher geworfen; man wird also 1/3 oder 1/2 Sek. Zeit nehmen können, bis der Stampfer, nachdem ihn der Daumen verlassen, in das Grubenloch zurückgefallen und den Stoß, der auch nicht ganz augenblicklich statt hat, bewirkt haben wird.

---

*) Die Vortheile der krummen Hebeköpfe sind §. 559 erläutert worden.

Man sieht, daß die Hubhöhe um so kleiner werden muß, je kleiner om ist und je schneller die Welle sich dreht, und kleiner bei drei= als bei zweihubigen Wellen ꝛc.

§. 659. Ein hoher Hub wäre übrigens auch darum unzweckmäßig, weil die Endgeschwindigkeit eines fallenden Körpers, und so auch seine Gewalt, nur wie die Wurzeln der Fallhöhen zunehmen (§. 72), und der Stampfer also 4mal höher gehoben werden müßte, um 2mal mehr Kraft zu erlangen. Gewöhnlich beträgt daher die Hubhöhe nur $1 - 1\frac{1}{2}'$, und man macht lieber die Stampfer schwerer, damit sie die nöthige Gewalt besitzen.

Ist om = 1, so ist en = Sin. nom; d. h. die Hubhöhe ist dem Sin. des Erhebungswinkels gleich.

Hat nom, w°, und die Welle p Daumen, so müssen stets $\frac{pw}{360}$ Daumen zugleich thätig seyn.

Beispiel. Hat eine Welle 36 Daumen, und nom 60°, so arbeiten stets $\frac{36 \times 60}{360} = 6$ Daumen.

Gesetzt, eine Welle sollte dreihubig seyn, der Hub von $1\frac{1}{4}'$ und der Erhebungswinkel von 54°, so wird der Abstand eines jeden der 3 Daumen 120° seyn, und der Weg, den er leer zurücklegt, $120 - 54$ oder 66°. Nehmen wir nun für die Fallzeit ꝛc. $\frac{2}{5}$ Sekunden an, so erfordern alle 3 Hübe $\frac{6}{5}$ Sekunden und also so viel Zeit für die Umdrehung um 3×66 oder 198°, und wir finden die ganze Umgangszeit oder $t : \frac{6}{5} = 360 : 198$ oder $t = 2\frac{2}{11}$ Sekunden. Die Welle wird in 1 Minute also $27\frac{1}{2}$ Mal umgehen dürfen. Ferner ist ne oder 15'' : om = Sin. nom : 1

$$\text{oder } om = \frac{\text{Sin. } nom}{ne}$$

$$\text{und } em = 1 - \text{Cosin. } nom.$$

Da selten ein Wasserrad 20 oder mehr Umgänge per Min. macht, so wird fast immer ein Vorgelege nöthig seyn.

Die Kraft, die ein Stampfwerk erfordert, hängt von der Menge und Schwere der Stampfer und der Geschwindigkeit ab. Kennt man also die Kraft, die ein gegebenes Werk treibt, so wird die eines andern (bei gleicher Einrichtung) sich leicht finden lassen.

$$P : p = : CNS : cns.$$

Wenn C, c die Geschwindigkeit der Stampfer,
N, n die Anzahl derselben und
S, s ihr Gewicht bezeichnet.

2) Von den Stampfhammerwerken.

§. 660. Stampfhammerwerke kann man zum Unterschied von andern solche Stampfwerke nennen, bei denen zwar wirkliche an Schwingen sitzende Hammerklötze durch eine Daumenwelle gehoben werden, die sich aber von den eigentlichen Hammerwerken nicht nur dadurch unterscheiden, daß die Hämmer in Löchern arbeiten und zum Stampfen dienen, sondern daß dieselbe Welle, wie bei den Stampfwerken, eine Reihe von Hämmern in Bewegung setzt.

Solche Werke sind namentlich in Papier= und Walkmühlen gebräuchlich.

In beiden hat der Grubenbaum mehrere Löcher, und in jedem arbeiten immer 2 oder mehrere Hämmer. Bei beiden ist das hintere Ende des Hammerhelms oder der Schwinge a (Fig. 278) zwischen 2 Pfosten (Ständern) b durch einen Bolzen befestigt, um den sie sich dreht; und der Hammer wird am andern Ende oder Kopfe c durch die Welldaumen d gehoben.

In den Papiermühlen ist die Schwinge etwa 8′ lang und der Hammer an 4′ hoch und 7″ dick, und lothrecht in jener befestigt. Der Hub fängt bei der horizontalen Lage der Schwinge an und beträgt nur an 8″.

Die Walkhämmer (Fig. 280) hingegen sind bogenförmig gekrümmt, fallen am horizontalen Stande der Schwinge herab und in eine schiefstehende Grube, und haben, ihrer Bestimmung gemäß, einen in Stufen getheilten Fuß. Schwinge und Hammer sind überdies länger und der Hub wohl doppelt so hoch. Bei den Walkhämmern scheint endlich eine gewisse Geschwindigkeit wesentlich, weil dadurch die gewalkten Stoffe etwas erwärmt werden. Jeder Hammer soll nach Langsdorf per Minute wenigstens 40 Schläge thun.

3) Von den Hammerwerken.

§. 661. Bei den Hammerwerken (im engern Sinne) sezt die Welle eigentliche Hämmer mit einem starken eisernen Hammerkloze in Bewegung, und diese dienen insgesammt zum Dünnerschlagen von Metallen. Nach ihrer Bestimmung heißen diese Hammerwerke: Eisenhämmer, Kupferhämmer, Messinghämmer, Stabhämmer, Blechhämmer, Kesselhämmer u. s. w.

Gewöhnlich sezt eine Welle nur 1 Hammer in Gang, da diese Hämmer oft mehrere (ja viele) Zentner schwer sind, dabei möglich schnell arbeiten und häufig stillgestellt werden müssen. Auch daraus ergibt sich manche Verschiedenheit.

Diese Hämmer sind fast ohne Ausnahme entweder Aufwerfhämmer oder Schwanzhämmer.

Die Aufwerfhämmer wirken nach den Gesetzen des einarmigen Hebels (dritter Art). (474) Die Welldaumen a (Fig. 282) ergreifen den Helm b zwischen dem Hammerkloz c und dem Umdrehungspunkte d.

Die Schwanzhämmer wirken als zweiarmige Hebel. Die Welldaumen a drücken auf den hinter dem Umdrehungspunkt d verlängerten Arm e des Helms b (Fig. 281).

Selten und wohl nur bei einigen der oft 60 — 80 Ztr. schweren englischen Eisenhämmer wirken die Welldaumen vorn auf den Kopf des Helms, wie bei den Walkhämmern.

§. 662. Da die Welle in der Regel nur einen Hammer bewegt, so muß bei diesen Werken die Last, die der Motor zu überwinden hat, sich beständig gar sehr verändern. Es wird bei solchen daher nöthig, daß 1) die Daumen keine flachen Tangenten, sondern epicykloidisch gekrümmt sind, und 2) daß das Rad eine bedeutende Schwere (oder Schwungkraft) hat, oder daß an der Welle ein Schwungrad angebracht ist, um den Gang zu regularisiren. Zwischen jedem Hube muß nämlich auch hier der Hammer Zeit haben, niederzufallen.

Da ferner diese Hämmer mit möglichster Schnelligkeit arbeiten müssen, weil die Metalle meist glühend gemacht sind und die schnell abnehmende Hitze und Weichheit möglichst benüzt werden müssen, so sucht man durch eine eigene Vorrichtung den Fall des Hammers zu beschleunigen. Es wird nämlich über dem Hammer eine starke elastische Stange (ein sog. Reitel) n angebracht, die während des Hubs heraufgedrückt wird, und daher beim Niedergang den Hammer zurückstößt.

Es ergibt sich daraus, daß der Hammer viel schneller als ein freifallender Körper zurück fällt, daß jedoch auch der Hub mehr Kraft erfordert, als wenn keine Reitelstange vorhanden wäre.

§. 663. Die Kraft, die ein Aufwerfhammer erheischt, läßt sich am besten aus Folgendem beurtheilen:

Der Daumen muß jedesmal den Hammer und den Helm in die Höhe heben.

Gesezt, der Hammer c wäge 400 Pf. und die Entfernung cd betrage 8′ und die des Daumens oder ad 6′, so ist das Gewicht des Hammers auf den Angriffspunkt a reduzirt (nach den Gesetzen des Hebels) im Verhältniß wie 6 : 8 vergrößert, also $= \frac{8}{6} \times 400 = 533\frac{1}{3}$ Pf.

Wiegt der Helm 180 Pf., und ist der Schwerpunkt in der Mitte, also in einer Entfernung von 4 Fuß von d anzunehmen, so ist ebenso dessen Gewicht auf a reduzirt im Verhältniß von 6 : 4 vermindert, oder $= \frac{4}{6} \times 180 = 120$ Pf.

Der Daumen hat also eine Last $= 120 + 533 = 653$ Pf. zu heben. Muß ferner der Hammer 1′ hoch steigen, so wird der Daumen $^6/_8$′ oder $^3/_4$′ steigen müssen; und macht die Welle per Minute 24 Umgänge und der Angriffspunkt im Mittel bei jedem Umgang einen Weg von 10′, so macht lezterer in einer Sekunde einen Weg von $\frac{240}{60} = 4'$. Hätte nun das Wasserrad

dieselbe Umfangs-Geschwindigkeit, so würde (wofern kein Wasser verloren ginge) 653 Pf. oder circa 9⅓ Kubikfuß hinreichen, das mit etwa doppelter Geschwindigkeit auffällt. *)

Alles dies gilt aber nur, wenn der Hammer (nebst Helm) die einzige Last wäre und wenn dieser ohne alle Unterbrechung gehoben werden müßte. Es muß aber nicht nur das Rad nebst der schweren Welle gedreht, und die Reibung an den Zapfen überwunden, sondern auch der Reitel gehoben werden, und ebenso wird wegen der beständigen Unterbrechung der Bewegung mehr Kraft erfordert. Ein solcher Hammer möchte daher wenigstens das Doppelte oder 20 Kubikfuß an Aufschlagwasser von 8′ Geschwindigkeit verlangen.

In Zeugdruckereien müssen die Tücher oft anhaltend geklopft oder gepannscht werden. Man breitet sie zu dem Ende auf eine große, runde und horizontal liegende Tafel a (Fig. 298) aus, deren Rand mit Zähnen, wie ein Stoßrad, versehen ist. Der Zeug wird hier mit Hülfe der Pretschhämmer b geklopft, welche eine Daumwelle c in Gang bringt, und die Tafel a langsam vermitteltst der Kurbel d und einer Stoßstange umgedreht.

---

*) Wir werden nämlich in Folgendem sehen, daß nur die halbe Geschwindigkeit des Wassers in der Regel utilisirt werden kann.

Vierzehnter Abschnitt.

Von der Verwendung federnder Körper.

---

§. 664. Auf sehr mannichfache Weise läßt sich die Federkraft in hohem Grade elastischer Körper benützen (§. 462).

1) Vorerst dienen federnde Körper häufig, um einen anhaltenden Druck zu bewirken. So lange nämlich ein solcher durch irgend einen Druck gehindert ist, seine natürliche Gestalt anzunehmen, äussert er gegen das ihm entgegenstehende Hinderniß einen Druck.

So wendet man z. B. die Strebruthen (wie a Fig. 285) an, um Glätt- oder Schleifsteine an den zu glättenden Gegenstand anzudrücken. Gewöhnlich ist hier a eine gewaltsam gebogene hölzerne Stange. Einen ähnlichen Zweck haben die schraubenförmigen Drahtfedern in manchen Kerzenlaternen, um die Kerze nachzurücken, die Federn n Fig. 238 und c Fig. 146, um den Sperrhaken anzudrücken u. a. m. Allerlei Federn werden bei den metallenen Kolben angebracht, damit sie (auch wenn sie sich etwa abschleifen) doch vollkommen dicht an die Cylinderwand anschließen, und zu gleichem Zwecke bei großen Blasebälgen. Durch eine Feder werden zuweilen Ventile geschlossen gehalten u. a. m.

Oft soll dieser Druck eine Reibung erzeugen und dadurch die allzugroße Beweglichkeit eines Körpers vermindern. So läßt man z. B. eine einfache Feder gegen Spulen drücken, damit sie sich nicht zu leicht umdrehen.

§. 665. 2) Federn werden ferner sehr oft angewendet, um Maschinentheile, die absichtlich verrückt werden, sofort wieder in ihre vorige Lage zurückzubringen. Dergleichen Reaktionsfedern kommen fast in allen Schlössern vor (s. i Fig. 77), bei Flintenschlössern u. s. w. Denselben Zweck hat die Feder n bei den Schraubstöcken und Feilkloben (Fig. 212, 213), und bei manchen Zangen, Scheeren, Zirkeln, und einen ähnlichen die Feder r Fig. 269 und 270. Die Feder c bei der Klappe, Fig. 87 und 88 u. a. m. Oft verbindet man Theile, die, nachdem sie aneinander gedrückt werden, sich von selbst wieder öffnen sollen, mit einem elastischen Bügel, der als Feder wirkt. So bei Schaafscheeren, Tuchscheeren, Federzirkeln, Feuerzangen u. a.

Aehnliche Federn bringt man zuweilen bei Blasebälgen, F. 253 (statt eines Gegengewichts), an. Oft bedient man sich hingegen einer elastischen Stange oder Prellstange. So auch bei Drahtzügen u. a. (Fig. 252 ꝛc.) Bei Siegelpressen ist oft eine Feder vorhanden, um den Stempel wieder zu heben, u. s. w.

§. 666. Bei vielen neuen Maschinen werden jezt vorzüglich sogen. Boudin-Federn (Fig. 283) angewendet, um in Bewegung gekommene Organe wieder zurückzuziehen oder zurückzustoßen. Das Erstere geschieht nämlich, wenn durch die Bewegung eines Stückes eine solche damit verbundene Feder auseinander gezogen, und das Leztere, wenn sie dadurch zusammengedrückt wird. *) Viele Hundert solcher Boudins kommen namentlich bei der Jacquart-Maschine zur Musterweberei vor.

---

*) Dergleichen Federn gebraucht man bekanntlich auch, um Betten und Kanapees elastisch zu machen, zu Hosenträgern u. a. m.

Das Princip dieser sinnreichen Vorrichtung (von der freilich keine nähere Beschreibung gegeben werden kann) besteht in Folgendem:

Jeder Litzenfaden wie a, a' (Fig. 289) ist an einem senkrechten Haken b, b' befestigt, durch welche dünne Stäbe (oder Stössel) c c' gehen, und die bei jedem Schusse durch Messer d, d' gehoben werden, wenn sie völlig senkrecht stehen. Es handelt sich also darum, zu veranstalten, daß bei jedem Schusse alle diejenigen Haken und Stössel etwas zurückgeschoben werden, deren Litzen nicht gezogen werden sollen, und dies geschieht, indem bei jedem Schusse ein eigens durchlöchertes Pappdeckelblatt n gegen die Enden der Stössel angedrückt wird; denn nur diejenigen Haken bleiben dann senkrecht stehen, deren Enden gegen Löcher treffen, die übrigen hingegen werden zurückgestoßen, so daß sie durch die Messer d' nicht gehoben werden. Da nun aber jeder Stössel b sofort wieder seine senkrechte Stellung annehmen muß, so ist für jeden am andern Ende eine kleine Boudinfeder f angebracht. Die Fig. zeigt die Lage für 2 Litzen, wenn a gehoben werden soll und a' nicht.

Spiralförmig gewundene Federn (wie Fig. 284) wendet man oft bei Lichtscheeren, bei Thüren (damit sie von selbst zugehen), bei Glockenzügen ꝛc. an. Bei leztern benuzt man den Umstand, daß eine plötzlich losschnellende Feder Schwingungen macht, um von der Glocke wiederholt Schläge zu erhalten.

Die wichtigste Anwendung solcher Federn kommt aber in den Taschenuhren vor, wo das Schwungrad (die Unruhe) durch die Verbindung mit einer feinen Spiralfeder erst zu einem genauen Regulator wird, indem man die auf die Unruhe wirksame Feder, um die Schwingungen jenes Rädchens zu beschleunigen oder zu verzögern, nach Bedarf durch Verrückung eines Klöbchens etwas verkürzen oder verlängern kann. (§. 506)

§. 667. 3) Da jede gespannte Feder, wenn die spannende Kraft auf einmal zu wirken aufhört, plötzlich in ihre ursprüngliche Lage wieder zurückkehrt, so können Federn auch einen oft

sehr kräftigen Stoß bewirken. So bedient man sich namentlich gespannter Saiten oder Schnüre, um Pfeile fortzuschießen.

Auch hier wird durch die Saite (die als Schnellfeder wirkt) keine Kraft erzeugt, sondern sie gibt nur die Kraft, mit der sie allmählich gespannt wird und die daher ungleich geringer seyn kann, auf einmal an das Geschoß zurück. Die Feder sammelt also hier einigermaßen die Kraft an, wie der Balancier bei Prägewerken. (§. 625)

Eine ähnliche Wirkung hat die sogen. Reitelstange bei manchen Hammerwerken. Es ist dies ein elastischer oder federnder Balken n (Fig. 282), der zugleich mit dem Hammer durch die Daumwelle aufwärts bewegt wird, und der also, wie der Däumling frei wird, gegen den Hammer zurückschnellt und so seine Bewegung beschleunigt. Auch hier kann von keiner Krafterzeugung die Rede seyn.

§. 668. 4) Umgekehrt kann eine Feder dienen, um eine sehr lange anhaltende Bewegung hervorzubringen, wenn der Widerstand nur langsam weicht und die Bewegung einen nur sehr geringen Aufwand von Kraft erfordert. Auf diese Weise wirken bekanntlich die Triebfedern in den Uhren. Die Kraft, welche die Feder erhält, während man sie aufzieht, ist hinreichend, um das Uhrwerk oft tagelang in Bewegung zu bringen, weil sie ausnehmend langsam nur verzehrt wird.

Eine solche Feder besteht aus einem dünnen (bei Taschenuhren etwa 2 — 3''', bei Pendeluhren 6 — 18''' breiten) Streifen von möglichst elastischem Stahle, der mittelst eines eigenen Werkzeuges (des Federnwinders) spiralförmig aufgewunden und dann in eine Trommel, das Federnhaus, eingelegt wird. Das eine Ende der Feder ist (Fig. 286) an der Axe, dem Federstift a, das andere am Umfange des Federnhauses befestigt. Da die Axe (oder Welle) a nicht an der Trommel festsizt, und beide also unabhängig von einander bewegt werden

können, so wird, dreht man den Stift um, die Feder aufgewunden, so daß sie mehr und engere Windungen erhält, und das Gleiche geschieht, dreht man die Trommel in entgegengesezter Richtung. Fig. 286 zeigt die Gestalt der Feder, wenn sie aufgezogen, Fig. 287 die, wenn sie abgewunden ist.

§. 669. Ist die Feder aufgezogen und also ungewöhnlich gespannt, so strebt sie, ihre frühere Form herzustellen, und also entweder den Stift, wenn dieser beweglich ist, oder die Trommel wieder rückwärts zu drehen; und kann diese nur sehr langsam weichen, indem sie mit einem Räderwerk ꝛc. in Verbindung ist, so wird die Feder auf eben so lange Zeit ihre Wirkung äussern, wofern sie Kraft genug hat, die Hindernisse zu überwinden. Nur ist zu bemerken, daß, da ihre Elastizität fortwährend abnimmt, sie also mit immer abnehmender Kraft wirkt, so wie denn überhaupt die Feder selbst abgewunden (d. h. bei der Form, mit der sie in's Federhaus gelegt wird) schon eine gewisse Kraft haben muß.

Bei den meisten Uhren wird die Trommel und zwar nicht unmittelbar gedreht. Ueber das Federhaus A wird nämlich (Fig. 288) eine aus vielen Gelenken bestehende feine Stahlkette ab geschlagen und diese an eine Schnecke B befestigt. Um die Uhr aufzuziehen, wird der Zapfen c mit dem Uhrschlüssel gedreht. Die Kette wickelt sich an der schneckenförmigen Rinne von B auf und von A ab, und indem A umgedreht wird, muß also die Feder aufgezogen werden. Umgekehrt wird die also gespannte Feder das Haus und hiemit die Schnecke wieder rückwärts zu drehen suchen. Da an diesen aber das Rad d befestigt ist, welches mit dem ganzen Räderwerk in Verbindung in einer gegebenen Zeit nur umgehen kann, so wird auch die Feder in dieser nur sich abwinden können. Zugleich wird aber die Feder, obschon ihre Elastizität allmählich geringer wird, doch mit Hülfe jener Schnecke mit demselben Bewegungsmoment auf das Rad d wirken können, weil der Radius der Schnecke, an der die Kette zieht, in gehörigem Verhältniß immer kleiner wird. Wie die Schnecke B beim Aufziehen unabhängig von d umgedreht werden

kann (weil d nicht mit umgehen darf), ist früher §. 502 (Fig. 60) erläutert worden. Andere Vorrichtungen, so wie die übrigen Mechanismen, die beim Aufziehen nöthig sind, müssen wir hier übergehen.

§. 670. Ganz ähnlicher in einer Trommel eingeschlossener Spiralfedern bedient man sich, um Spieluhren, mechanische Spielwerke, Automaten, Bratenwender, Metronome ꝛc. in Bewegung zu setzen.

Einen **Federbratenwender** stellt Fig. 294 dar. a ist die Trommel, in der eine starke (mehrere Zoll breite) Feder enthalten und über die ein Seil oder eine Kette b gewickelt ist. Diese wird beim Aufziehen direkt auf die Schnecke x aufgewunden, an der (mittelst einer Sperrvorrichtung wie Fig. 60) das Zahnrad p sitzt, das in c eingreift und mittelst der Räder d, e und f eine Schraube ohne Ende y in Bewegung setzt. (§. 632) An der Axe von y ist ein Windfang (§. 522), der die Bewegung der ganzen Maschine, die sonst viel zu schnell seyn würde, gehörig verzögert. An der Axe n ist der Bratspieß befestigt, wenn er sehr langsam umgehen soll. Bringt man noch ein Vorgelege g, h an, so kann zugleich an o ein zweiter Spieß gesteckt und dieser mit größerer Geschwindigkeit umgetrieben werden. Ueberhaupt läßt sich aber die Geschwindigkeit dadurch nach Belieben beschleunigen, daß man die Scheiben des Windfanges r und s anders stellt, so daß sie weniger Widerstand finden.

Bei gemeinen Bratenwendern läßt man die Schnecke weg und bringt das Rad p an der Trommel a an. Ebenso setzt man sie, wenn der Raum es gestattet, lieber durch Gewichte in Gang.

5) Elastische Körper sind ferner geeignet, einen Druck gleichmäßig zu vertheilen, oder Stöße, wie man zu sagen pflegt, zu brechen.

So wendet man z. B. bei Druckerpressen ꝛc. elastische Unterlagen an, damit alle Theile des Papiers oder Zeugs an die Druckplatte gleichförmig angedrückt werden; so spannt man in einem Schraubstock gewisse Körper oft zwischen elastische ein u. s. w.

Um die heftigen Stöße eines Hammers auf einen Ambos zu brechen, sezt man diesen gewöhnlich auf eine etwas elastische Unterlage; und zu demselben Zwecke umgibt man zerbrechliche Waaren beim Einpacken mit elastischen Substanzen. Hauptsächlich aber bedient man sich häufig federnder Körper, um die Stöße eines Fuhrwerks so zu schwächen oder zu vertheilen, daß sie viel weniger sowohl von den Fahrenden, als von den Zugthieren empfunden werden (§. 607).

6) Federn können endlich dem Mechaniker auch dienen, um Kräfte zu messen. Auf diesen Gebrauch gründen sich, wie wir früher gesehen (§. 462), die Federwagen und die Dynamometer.

Vierte Abtheilung.

Industrielle Hydraulik.

Erläuterungen aus der Mechanik der Flüssigkeiten.

1.

Ueber den Druck, den Wasserröhren erleiden, und die nöthige Stärke derselben.

§. 671. Flüssigkeiten üben nicht bloß auf den Boden des Gefäßes, in dem sie enthalten sind, einen Druck aus, sondern auch auf die Seitenwände desselben.

Einen mehr oder weniger starken Druck erleiden also auch Wasserröhren, und wichtig ist es daher, zu wissen, wie dick oder stark diese seyn müssen, damit sie diesen Druck und auf die Dauer aushalten können.

Einerseits hängt diese erforderliche Dicke von der Festigkeit des Materials ab, woraus die Röhre gemacht ist, und diese ist durch Versuche auszumitteln. Andererseits hängt sie von der Größe des Drucks ab, und diese ist zu berechnen.

Der Druck, den jeder inwendige Theil einer mit Wasser gefüllten Röhre erleidet, ist, wie früher (§. 98) gezeigt worden, dem Gewichte einer Wassersäule gleich, die jenen Theil zur Basis und den senkrechten Abstand vom Wasserniveau zur Höhe hat. Der Druck nimmt also mit der Höhe des Wasserstandes zu, und die Röhre muß in diesem Verhältniß dicker seyn.

Ferner aber muß, indem der Druck die Röhre jeweilen an 2 entgegengesezten Stellen zu zerreißen strebt, die Stärke um so größer seyn, je größer der Umfang und also der Durchmesser der Röhre ist. Denn denken wir uns zwei Röhren von verschiedenem Durchmesser aus lauter Ringen von gleicher Breite zusammengesezt, so wird (bei derselben Tiefe) jeder einzelne Ring der breitern Röhre im Verhältniß seines größern Umfangs mehr Druck erleiden; und da die Länge des Rings, so wenig als die eines Seils, dessen Stärke an jeder einzelnen Stelle erhöht, so muß er um so größer seyn, je größer bei größerem Umfange der Druck ist.

Es ergibt sich daraus das Gesetz, daß die Dicke der Röhren, um die gleiche respektive Stärke zu besitzen, in zusammengeseztem Verhältniß des Durchmessers und der Wasserhöhe vergrößert oder vermindert werden muß.

Gesezt, eine Röhre müsse bei einem Durchmesser $= d''$, und einer Wasserhöhe $= h'$; $\frac{1}{n} \times h\,d'''$ dick seyn, so muß eine andere aus gleichem Material, wenn sie D'' breit und die Wasserhöhe $= H'$ ist $= \frac{1}{n}\,H\,D'''$ dick seyn.

Es handelt sich also bloß darum, für jede Art von Röhren die Funktion $\frac{1}{n}$ durch die Erfahrung zu bestimmen.

§. 672. Im Großen bedient man sich fast einzig bleierner, gußeiserner oder hölzerner Wasserröhren; wir haben also nur solche zu betrachten.

Nach Jardine *) hielt eine bleierne Röhre von $1\frac{1}{2}''$ Weite und $\frac{1}{5}''$ Dicke noch den Druck einer Wassersäule von $1000'$ ohne Veränderung aus. Es wäre demnach

$$\frac{12'''}{5} = \frac{1}{n} \times 1\frac{1}{2} \times 1000' = \frac{1500}{n}$$

$$n = \frac{5 \times 1500}{12} = 625 \text{ und } \frac{1}{n} = \frac{1}{625}.$$

*) S. Polyt. Journ. 19. p. 79.

Nähme man also die Dicke noch etwas über 3mal größer oder $\frac{1}{n} = \frac{1}{200}$ an, so sollte dieselbe völlig hinreichend seyn.

Nach vielen Erfahrungen an franz. Wasserleitungen fordert H. Genieys (Essais etc. Paris 1829) eine weit beträchtlichere Dicke. Nach Gerstners Reduktion seiner Formel würde $n = 92$; und überdies verlangt er eine konstante Zugabe von 2‴.

Die Dicke wäre demnach $= \frac{d'' \, h'}{92} + 2'''$.

Eine 2″ weite Röhre müßte also bei einem Druck von 100′ seyn

$$= \frac{200'''}{92} + 2''' = 4{,}2'''.$$

und dieselbe Dicke müßte eine Röhre von 1″ bei 200′ Druck, oder eine von 4″ bei 50′ Druck haben.

Für gußeiserne Röhren stellt H. Genieys die Regel $\frac{d'' \, h'}{660} + 4{,}5'''$ auf, indem er wegen der Ungleichheit des Gusses annimmt. daß auch die schwächsten Röhren wenigstens $4^1/_2$‴ dick seyn solle.

Eine Röhre von 4″ Durchmesser wird daher bei 150′ Druck eine Dicke haben müssen

$$= \frac{4 \times 150}{660} + 4{,}5 \text{ oder fast } 5^1/_2''',$$

eine Röhre von 11‴ Weite, bei 450′ Druckhöhe eine Dicke von 12‴.

Nach Langsdorf würde die Dicke hölzerner Röhren zu $\frac{d'' \, h'}{4} + 12'''$ anzunehmen seyn.

Bei 2″ Weite und 40′ Druckhöhe wäre die nöthige Dicke also $= \frac{80}{4} + 12 = 32$.

§. 673. Für Wasserleitungen sollte zwar eine weit geringere Stärke hinreichen, weil das Wasser durchfließt; denn flösse dasselbe ganz ungehindert durch, d. h. mit derjenigen Geschwindigkeit, die es in Folge der Druckhöhe erlangen sollte, so würde es eben

so wenig als eine frei durchfallende Kugel einen Seitendruck ausüben können. Ein Seitendruck auf die Wände der Röhren ist also nur insofern vorhanden, als stets jene Geschwindigkeit vermindert seyn muß, und derselbe hiermit immer geringer als der vorhin bestimmte. Allein abgesehen, daß bei jeder Leitung der Durchfluß zuweilen verhindert werden kann, so daß sofort dann der totale Druck des Wassers stattfindet, erzeugt eine plötzliche Hemmung des Laufs sogar eine Reaktion, die um so größer ist, je schneller das Wasser im Augenblick jener Unterbrechung läuft.

2.

Verhalten und Bewegung schwimmender Körper.

§. 674. Wir betrachten zuerst, wie schwimmende Körper in einer stille stehenden Flüssigkeit und namentlich im Wasser sich verhalten, und welche Umstände auf ihre Bewegung in demselben Einfluß haben.

Damit ein fester Körper auf einer Flüssigkeit schwimmen kann, muß er leichter seyn, als ein gleiches Volumen der Flüssigkeit (§. 104), in die er getaucht wird; er wird alsdann nämlich nur so tief einsinken, bis das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit dem des eintauchenden Körpers gleichkommt; und je kleiner daher das spezifische Gewicht des Körpers, oder je größer das der Flüssigkeit ist, desto weniger tief wird er in derselben einsinken.*) Auch die spezifisch schwereren Körper können indessen

*) Wie sich das ungleiche Einsinken eines Körpers in verschiedene Flüssigkeiten benutzen läßt, um ihr spezifisches Gewicht zu finden, ist früher gezeigt worden. (§. 103)

zum Schwimmen gebracht werden, wenn sie hohl oder mit ungleich leichteren verbunden sind.

Auf diese Weise dienen Blasen, Halbkugeln von Blech, Schwimmgürtel oder Westen von Kork ꝛc., um Körper schwimmend zu erhalten, und so kann man Boote (sogen. Rettungsboote) konstruiren, die auch, wenn sie voll Wasser sind, nicht untersinken.

§. 675. Kennt man das Volumen des eintauchenden Körpers und sein Gewicht, so läßt sich leicht berechnen, wie tief derselbe im Wasser einsinken muß. Ist z. B. eine Masse Tannenholz 20 Kubikfuß groß und 1 Kubikfuß 42 Pf. schwer, so wird sie 20 × 42 oder 840 Pf. Wasser verdrängen, oder $\frac{840}{70} = 12$ Kubikfuß, wenn 1 Kubikfuß Wasser 70 Pfund wiegt. — Eben so wird ein leeres Faß von 20 Kubikfuß, das 350 Pf. wiegt, nur $\frac{350}{70}$ oder 5 Kubikfuß Wasser verdrängen, und also nur um $^1/_4$ seines Volumens einsinken, und damit es um $^3/_4$ einsänke, müßte ein Gewicht von 10 × 70 oder 700 Pf. in dasselbe gebracht werden.

Eben daraus folgt aber, daß das Wasser, wenn jenes Gewicht wieder entfernt würde, mit 700 Pf. Kraft entgegendrückte, oder das nun zu tief eintauchende Faß sich mit dieser Kraft wieder zu erheben strebte.

Diese Kraft, die ein zu tief eingetauchter Körper hat, heißt auch wohl die Schwimmkraft und kann auf verschiedene Weise benutzt werden.

Gesezt nämlich, ein Schiff sänke, wenn es mit 1000 Ztr. belastet wird, um 2′ tiefer ein, so wird es, wenn diese Last wieder ausgeladen wird, um 2′ wieder sich erheben müssen, und zwar mit einer Gewalt von 1000 Ztrn. Befestigt man daher dieses Schiff, während es belastet ist, an irgend einem versenkten Gegenstand, so muß es, so wie man es ausladet, mit großer Gewalt diese mit in die Höhe zu heben suchen. Auf diese Weise bedient man sich zuweilen eines oder mehrerer Schiffe, um ein anderes oder um im Meeresgrunde steckende Gegenstände ꝛc.

flott zu machen,*) oder auch wohl, um tief unter dem Wasser eingerammte Pfähle aus dem Boden zu ziehen 2c.

§. 676. Noch häufiger benuzt man aber jene Schwimmkraft, den Zu- oder Abfluß des Wassers zu reguliren, um dadurch einen constanten Wasserstand zu erhalten. Solche Vorrichtungen heißen Schwimmer.

Da nämlich jeder schwimmende Körper genau bis auf eine bestimmte Tiefe einsinken muß, so wird er mit einer gewissen Kraft zu steigen oder zu sinken streben, wenn er im Wasser zu tief oder zu hoch steht. Gesezt also, in einem Behälter A (Fig. 301), in den durch die Röhre p Wasser einfließt, solle der Wasserstand stets auf der Linie mn erhalten werden, so wird dies mit Hülfe eines Schwimmers o erhältlich seyn; denn so wie zu viel Wasser durch q abfließt und der Wasserstand etwas sinkt, wird auch der Schwimmer o sinken und hiemit das Zuflußventil x öffnen; umgekehrt aber wird er dasselbe durch seine Schwimmkraft schließen, so wie das Niveau sich über mn erhebt. Und auf dieselbe Weise wird der Schwimmer a (Fig. 302) den Abfluß bei b reguliren, so daß der Wasserstand stets derselbe bleibt.

Von ähnlichen Schwimmern macht man häufig bei Dampfkesseln Gebrauch, um den Wasserzufluß nach der Menge des verdampfenden Wassers zu reguliren.

Oefters wendet man dann auch Körper an, die spezifisch schwerer sind, als das Wasser, indem man sie durch ein Gegengewicht schwimmend erhält. Einen solchen Schwimmer stellt Fig. 303 dar. o ist eine steinerne Platte, und p das Gegengewicht, i der Stützpunkt des Hebels ab. Massive Schwimmer haben den Vortheil, daß sie (in einer kochenden Flüssigkeit) weniger schwanken.

Bei vielen Dampfmaschinen kommen übrigens noch andere Arten Schwimmer vor. So dient z. B. der Schwimmer a Fig. 304, um nach Bedarf die Stärke des Feuers zu mindern. Gesezt

---

*) In manchen Seehäfen hat man eigene Schiffe, die zu diesem Gebrauche bestimmt sind, und nennt sie Kameele. Am bequemsten ist, die Schiffe mit Wasser zu füllen und dieses nachher auszupumpen.

nämlich, der normale Druck des Dampfes im Kessel A solle nur um $\frac{1}{4}$ Atmosphäre stärker als der der Luft seyn, so wird das Kesselwasser in der Röhre b nur auf 7′ über das Niveau nm sich erheben dürfen; ist nun ein Schwimmer a vorhanden, der mit einem Register d in Verbindung steht, so wird dieses sinken oder den Rauchfang verengen oder schließen, so wie der Dampfdruck jene Grenze übersteigt, und hiemit das Feuer mäßigen.

§. 677. Bei einem schwimmenden hohlen Körper ist ferner noch der Gegendruck des Wassers oft zu berücksichtigen; denn klar ist, daß das Wasser gegen die eintauchende Fläche desselben einen Gegendruck ausübt, der dem Gewichte der verdrängten Wassermasse gleichkommt. Bei Schiffen kann dieser Druck ausnehmend groß seyn, denn ist ein Schiff im Mittel 100′ lang und 20′ breit und taucht es 5′ tief ein, so verdrängt es an 10000′ Wasser und der Gegendruck beträgt also an 7000 Ztr. Es ist daraus begreiflich, daß das Schiff um so fester gebaut seyn muß, und daß, wie dasselbe vom Stapel gelassen wird, seine Form sich dennoch wegen dieses ungleichen Drucks etwas verändern muß.

Bei Schiffen endlich kommt nicht nur in Betracht, wie tief es oder der wievielte Theil seines Volums eintauchen wird, sondern insbesondere noch, in welcher Lage es sich schwimmend erhält. Diese Stellung wird einerseits durch die Lage seines Schwerpunkts, anderseits durch die des Schwerpunktes der dann verdrängten Wassermasse bedingt. Das Schiff, wie jeder schwimmende Körper, wird sich nämlich so drehen müssen, daß beide Schwerpunkte in derselben senkrechten Linie liegen. Wirken äußere Kräfte gegen das Schiff, so wird dasselbe schwanken, um so weniger jedoch umstürzen, wenn der durch jene Kräfte verrückte Schwerpunkt des Schiffs ihnen entgegenwirkt, und diese größere Stabilität erlangt das Schiff, wenn es breit ist und wenn der Schwerpunkt möglichst tief liegt.

3.

Ueber den Wasserzug eines Schiffs.

§. 678. Unter dem Wasserzug (tirant) versteht man die Tiefe, zu der ein leeres oder beladenes Schiff im Wasser einsinkt.

Dem Vorhergehenden nach muß es so tief eintauchen, daß das Gewicht des verdrängten Wassers dem des Schiffes gleich kommt.

Hätte das Schiff die Form eines rechtwinklichten Kastens, so wäre die Berechnung ganz einfach.

Das Schiff sey 48′ lang, 12′ breit und 4′ hoch; Boden und Seiten von 3″ Holzdicke, und 1 Kubikfuß Holz wäge 45 Pf., 1 Kubikfuß Wasser 70 Pf., — so ist

der Inhalt = 48 × 12 × 4 = 2304 Kubikfuß,

der Boden hat an Holz 48 × 12 × $^1/_4$ =	144	Kubikfuß,
beide Seitenwände 2 × 48 × 4 × $^1/_4$ =	96	„
beide Endstücke 2 × 12 × 4 × $^1/_4$ =	24	„
Das ganze Schiff	264	„

und dessen Gewicht ist also 264 × 45 = 11880 Pf.

Für jeden Zoll, um den es einsinkt, verdrängt es 48 Kubikfuß (48 × 12 × $^1/_{12}$) Wasser, oder 70 × 48 = 3360 Pf.

Leer wird das Schiff also

$$\text{um } \frac{11880}{3360} \text{ oder etwas über } 3^1/_2{}'' \text{ eintauchen;}$$

und für jede $33^1/_2$ Ztr. Ladung um 1″ tiefer.

Soll das Schiff $33^1/_2$″ gehen, so kann die Ladung (Alles inbegriffen) 30 × $33^1/_2$ oder 1005 Ztr. betragen.

§. 678 (bis). Bringt man an beiden Seiten des Schiffs eine Skale an, die von dem Punkte anfängt, bis zu dem das Schiff leer eintaucht, so gibt, wenn die Skale in Zolle getheilt ist, jeder Zoll eine Ladung von $33^1/_2$ an. Sinkt also das Schiff beladen auf 12 Grad dieser Skale oder Schiffsaiche ein, so muß die Last 12 × $33^1/_2$ oder 402 Ztr. betragen.

Alle Schiffe haben nun zwar keine so leicht zu berechnende Form, besonders da die meisten von krummen Flächen begrenzt sind, die überdies keine geometrisch bestimmte Krümmung haben.

Die Berechnung erfordert dann eine sorgfältige Verzeichnung und Ausmessung mehrerer Längen- und Querprofile.

Die Aichskalen werden daher gewöhnlich auf empirischem Wege gemacht. Man bemerkt zuerst und in ganz ruhigem Wasser, wie tief das leere Schiff einsinkt, und beladet es dann stufenweise mit je 10, 20 oder mehr Ztr., indem man jedesmal die Stelle anzeichnet, bis zu der das Schiff eintaucht.

Da die Schiffe nach oben immer weiter werden, so ergeben sich immer kleinere Grade. Da ferner das Seewasser etwa um $1/_{40}$ schwerer ist, als Flußwasser, so sinken in diesem die Schiffe um so viel weniger ein.

In England hat man Wagehäuser, um die Kanalschiffe leer oder beladen zu wägen.

4.

Vom Widerstand, der bei der Bewegung eines schwimmenden Körpers zu überwinden ist.

§. 679. Soll ein auf einem ruhenden Wasser schwimmender Körper, wie namentlich ein Schiff, fortbewegt werden, so wird dazu eine gewisse Kraft erfordert, wenn gleich das Schiff das ganze Gewicht des Schiffes trägt; denn das Schiff hat einen mehr oder minder großen Widerstand von Seiten des Wassers zu überwinden.

Bekanntlich werden verschiedene Kräfte und auf mehrfache Weise zur Bewegung der Schiffe angewendet. Viele werden durch Menschen oder Thiere, andere durch den Wind oder die Dampfkraft fortbewegt. Wendet man Menschen an, so arbeiten sie gewöhnlich an Rudern; seltener ziehen oder stoßen sie das Schiff fort. Thiere hingegen ziehen das Schiff gewöhnlich an Seilen weiter. Der Wind bewegt das Schiff, indem er

gegen ausgespannte Segel bläst, und die Dampfkraft, indem der Dampfkolben Ruderräder umtreibt. In neuerer Zeit hat man auch wohl ähnliche Ruderräder durch Menschen oder Thiere in Bewegung gesezt. Wir reden indessen hier nicht sowohl von den verschiedenen Kräften, die zur Fortbewegung eines Schiffes dienen können, als aber von den Umständen, von welchen der Widerstand abhängt, der bei der Bewegung zu überwinden ist.

Ohne Zweifel ergibt sich auch hier schon einiger Widerstand aus der Reibung des Schiffes am Wasser; denn so gering auch die eigentliche Reibung hier seyn mag, so wirkt hingegen merklich die Adhäsion. Und diese Wirkung muß um so größer seyn, je größer die eintauchende Fläche ist und je tiefer das Schiff einsinkt, weil der Druck des Wassers dann zunimmt, und je geschwinder das Schiff sich bewegt. Ueberdies wird diese Reibung zunehmen, wenn die berührende Fläche nicht möglichst glatt ist.

Einiger Widerstand muß sich ferner auch daraus ergeben, daß am Hintertheil des Schiffs augenblicklich ein leerer Raum entsteht, der nicht sofort von dem zufließenden Wasser gänzlich erfüllt wird. Dieser Widerstand wird indessen nur bei einer sehr schnellen Bewegnug von Bedeutung seyn.

§. 680. Die Hauptursache des Widerstands liegt indessen darin, daß am Vordertheile des Schiffes Wasser verdrängt werden muß; und der Widerstand, der daher rührt, muß offenbar um so größer seyn, 1) je größer der eintauchende Querschnitt des Schiffes ist, und 2) mit je größerer Geschwindigkeit das Schiff sich bewegt. Dieser Widerstand wird sogar im doppelten oder quadratischen Verhältnisse der Geschwindigkeit zunehmen, weil bei größerer Geschwindigkeit in derselben Zeit nicht nur mehr Wasser verdrängt werden, sondern dieses auch mit desto größerer Geschwindigkeit weichen muß. (519)

Wäre das Vordertheil des Schiffes eine senkrechte und gerade Wand, so wäre dieser Widerstand des Wassers leicht

zu bestimmen.*) Den allermeisten Schiffen gibt man eine mehr oder weniger zugespizte Gestalt, und die Erfahrung lehrt, daß die Form des Hintertheils sowohl als die des Vordertheils einen sehr bedeutenden Einfluß auf die Größe des Widerstandes hat, den das Wasser auf das Schiff ausübt.

Nach Gregory's Versuchen war bei gleichem Querschnitt der Widerstand bei der Form b (Fig. 305) um die Hälfte größer, als bei der Form a, und bei d weit größer als bei c. Und noch größern Einfluß hat die Gestalt des Vordertheils. Offenbar kann jedoch dem Schiffe nicht unbedingt diejenige Form gegeben werden, bei welcher der Widerstand der kleinste ist, indem zugleich die möglichst größte Kapacität und Stabilität zu berücksichtigen ist. Und man ersieht auch hieraus, wie sehr schwierig die Kunst des Schiffbaues seyn muß.

Wenn daher die Regel aufgestellt wird, daß der Widerstand des Wassers sich verhält: 1) wie der eintauchende Querschnitt, und 2) wie das Quadrat der Geschwindigkeit, so kann dieselbe nur für Schiffe von völlig gleicher Gestalt gelten.

Nach den Versuchen, die Walker (1817) in den großen (1400′ langen und 360′ breiten) Docks zu London anstellte, wächst

*) Bewegt man eine senkrechte Fläche mit der Geschwindigkeit c gegen eine ruhende Wassermasse, so ist der Widerstand gerade so groß, als wenn das Wasser mit der Geschwindigkeit c gegen jene Fläche anstieße und diese ruhte. Nun aber ist der Druck einer solchen anstoßenden Wassermasse dem Drucke einer Wassersäule gleich, deren Höhe jene Geschwindigkeit c hervorbrächte; und da diese Höhe oder $h = \frac{c^2}{4g}$ oder $\frac{c^2}{60}$; so ist der Druck (wenn f = die Fläche in □′) = $70 f \times \frac{c^2}{60}$.

Bewegt sich hiemit eine Fläche von 8 □′ mit einer Geschwindigkeit von 5′ in einem ruhenden Wasser, so ist der Widerstand $= 70 \times 8 \times \frac{25}{60} = 233\frac{1}{3}$ Pf.

der Widerstand sogar noch mehr als im quadratischen Verhältnisse der Geschwindigkeit. Er wandte Boote an, die 18′ lang waren, 9 □′ eintauchten und 42 Ztr. Ladung hatten; maß die Zugkraft mit Hülfe eines Dynamometers und fand diese bei doppelter Geschwindigkeit meist 5 — 6mal größer.

Ebenso lehrt die Erfahrung, daß auf Kanälen der Widerstand in noch stärkerem Verhältniß zunimmt, als in unbegrenzten Wassern.

§. 681. Aus dem eben Gesagten ergeben sich manche sehr wichtige Thatsachen. Auf einem Kanal kann 1 Pferd mit $2\frac{1}{2}$ M. (engl.) Geschwindigkeit leicht an 6 — 800 Ztr. fortziehen, und leistet daher fast 4mal mehr, als auf der besten Eisenbahn. Sollte es aber mit 5 M. Geschwindigkeit ziehen, so würde es bereits auf dem Kanale weniger leisten, weil 5 — 6mal mehr Zugkraft nöthig ist; und eine ungleich größere Geschwindigkeit würde demnach fast unmöglich seyn. Ebenso muß ein Dampfschiff, das 10 M. per Stunde zurücklegen soll, 16 — 20mal mehr Kraft besitzen, als wenn es nur $2\frac{1}{2}$ M. zurücklegen wollte; *) und man ersieht daraus, daß eine so große Geschwindigkeit nur bei Passagierschiffen zulässig ist (weil hier die Beschleunigung einen großen Werth hat) oder wenn zugleich der Wind mitwirkt. Ferner begreift man, daß der schwächste Wind schon eine langsame Bewegung eines Schiffes hervorbringen kann, während ein sehr starker Wind erfordert wird, um eine viel schnellere zu bewirken. Es ist daraus endlich klar, warum das Aufwärtsfahren gegen einen Strom eine so bedeutende Anstrengung erfordert. Denn soll ein Schiff per Sekunde um 2′ auf einem Flusse stromauf fahren, der 4′ Geschwindigkeit hat, so muß es in der That 6′ Weg machen; und dazu wird wenigstens 9mal (oder 27mal) mehr Kraft erfordert, als wenn es auf einem ruhigen Wasser 2′ per Sek. zurücklegen sollte.

---

*) Oder vielmehr wenigstens 64mal mehr, da bei gleich bleibendem Widerstand schon die Kraft 4mal größer seyn muß, bei 4facher Geschwindigkeit aber der Widerstand noch 16mal größer wird.

Zu sehr merkwürdigen Resultaten führten indessen einige neuere Versuche (von Houston, Fairbairn, Graham, Macnedl u. A.)*) über die Bewegung von Kanalschiffen. Es hat sich nämlich ergeben, daß bei einer sehr bedeutenden Geschwindigkeit der Widerstand des Wassers lange nicht im quadratischen Verhältnisse zunimmt; auch sind jezt auf dem Glasgower-Kanal bereits Postschiffe im Gange, die, von 6 Pferden gezogen, 60 Passagiere führen, und per Stunde 8—9 engl. M. zurücklegen. Bestätigt sich diese Erfahrung, so scheint sie daraus erklärbar, daß bei einer Geschwindigkeit, bei welcher das Wasser nicht gleich schnell abwärts ausweichen kann, das Schiff (zumal wenn es flach gebaut ist) etwas gehoben wird, so daß der eintauchende Querschnitt und hiemit auch der Widerstand kleiner werden muß.**) Dahin gehören auch die Leistungen der neuen amerikanischen Zwillingsboote.

5.

Von der Bewegung des Wassers in Flußbetten.

§. 682. **Flußbette** nennt man die Höhlung oder Rinne, in der ein laufendes Wasser fließt. Bei Strömen, Flüssen, Bächen 2c. ist dieses Bette ein natürliches, bei Kanälen, Gräben, Gerinnen u. a. ein künstliches. Ein Gerinne ist eine mit

*) S. Polyt. Journ. B. 50, S. 528. Bei 12 Meilen Geschwindigkeit fand M. die Zugkraft nur 11mal größer als bei 3 Meilen Geschwindigkeit, und nicht 16mal größer.

**) Wahrscheinlich kommt hier auch in Betracht, daß die Mittheilung aller Bewegung Zeit erfordert (§. 66). Aus derselben Ursache sänke hiemit ein Schiff bei schneller Bewegung weniger tief ein, aus der ein sehr schnell fahrender Wagen weniger tiefe Geleise eindrückt, oder aus der ein Schlittschuhläufer über Eisdecken fährt, die einen darüber Gehenden nicht tragen würden. Aus derselben Ursache scheint sich ferner zu erklären, daß bei sehr schneller Bewegung die Reibung geringer ist. Die berührenden Theile haben nicht Zeit, auf einander zu wirken.

hölzernen Wänden eingefaßte, oben offene Wasserleitung. Denkt man sich eine Ebene senkrecht und in die Quere einen Fluß durchschneidend, so bildet die darin liegende Wasserfläche den Querschnitt und die Zeichnung davon das Seitenprofil des Flusses.

Unter dem Gefälle versteht man die Neigung des Wasserniveaus. Senkt sich dasselbe auf 1000′ um 3″, so ist das Gefälle 1/4000.

Um bei Flüssen den wechselnden Wasserstand zu bemessen, dienen Markpfähle oder Pegel. Kennt man die Größe des Querschnitts und die mittlere Geschwindigkeit des Flusses, so findet sich leicht, wie viel Wasser in einer gegebenen Zeit durchfließt.

§. 683. Jedes fließende Wasser muß ein Gefälle haben. Denn ist die Oberfläche völlig horizontal, so kann nach hydrostatischen Gesetzen keine Bewegung entstehen, wie uneben auch der Boden des Bettes seyn mag. Ist sie hingegen geneigt, so müssen, und zwar sämmtliche Wassertheile ein Bestreben erlangen, nach der tieferliegenden Stelle abzufließen; und je größer das Gefälle ist, mit desto größerer Geschwindigkeit werden sie abfließen.

Diese Geschwindigkeit wird ferner, auch wenn das Gefälle sich vermindert, fortwährend zunehmen müssen, weil das Wasser mit der bereits erlangten Geschwindigkeit, selbst wenn es kein Gefälle mehr hätte, fortfließen sollte. Bei gleichbleibendem Gefälle müßte es, gerade wie ein Körper, der auf einer geneigten Ebene herabrollt, eine beschleunigte Bewegung annehmen.

Die Erfahrung lehrt nun aber, daß in der Wirklichkeit eine solche Beschleunigung nicht stattfindet. Alle Flüsse haben bis zu ihrem Ausflusse ein Gefälle, und dennoch nimmt fast ohne Ausnahme ihre Geschwindigkeit nicht zu, sondern vielmehr ab. Es müssen daher Ursachen vorhanden seyn, welche die Bewegung des Wassers aufhalten.

Sieht man, daß auf eine beträchtliche Strecke die Geschwindigkeit ganz dieselbe bleibt, obschon der Fluß Fall hat, so muß

der Widerstand, den jene hemmenden Umstände hervorbringen, gerade so groß seyn, als die beschleunigende Kraft, welche das Gefälle erzeugen sollte, da beide Wirkungen sich in diesem Falle aufheben.

§. 684. Unschwer ist wohl zu erkennen, daß jene Hemmung hauptsächlich von der Reibung oder dem Widerstande herrührt, den die Wassertheilchen bei ihrer Berührung mit dem Flußbett erleiden. Dieser Widerstand muß um so größer seyn, 1) je kleiner verhältnißmäßig der Querschnitt ist; 2) je größer bei gleichem Querschnitte die Wände des Flußbettes sind und 3) je größer die Geschwindigkeit des Flusses ist; und zwar wird bei doppelter oder dreifacher Geschwindigkeit der Widerstand aus dieser Ursache 4 oder 9mal größer seyn, da in derselben Zeit 2 oder 3mal mehr Theile und mit um so größerer Geschwindigkeit losgerissen werden müssen.

Der Widerstand in 2 Flüssen (wenn von sonstigen Ungleichheiten des Bettes abgesehen wird) verhält sich also

$$\text{wie } \frac{PC^2}{S} : \frac{pc^2}{s}.$$

Wenn C, c ihre mittlern Geschwindigkeiten,
S, s den Inhalt des Querschnitts, und
P, p die Größe der Wände bezeichnen.

Nennt man ferner A, a die Senkung auf eine Länge L, l, so drückt $\frac{A}{L}$ und $\frac{a}{l}$ das Gefälle aus, und hiemit auch die beschleunigende Kraft.

Da nun, wenn sie fließen und troß ihres Gefälles eine gleichförmige Bewegung haben, die Wirkungen des Widerstands denen der beschleunigenden Kraft gleich seyn müssen, so verhalten sich

$$\frac{A}{L} : \frac{a}{l} = \frac{PC^2}{S} : \frac{pc^2}{s}, \text{ also}$$

$$\frac{pc^2}{s} \times \frac{A}{L} = \frac{PC^2}{S} \times \frac{a}{l}; \text{ und}$$

$$c^2 = \frac{C^2}{SA} \times \frac{sa}{pl}; \text{ und}$$

$$c = C \sqrt{\frac{PL}{SA}} \times \sqrt{\frac{sa}{pl}}.$$

Nach Dubnats Beobachtungen ist nun für $c\sqrt{\frac{p\,l}{s\,a}}$ die Zahl 91 (bei rheinl. Maßen) anzunehmen; wir haben daher

$$c = 91\sqrt{\frac{s\,a}{p\,l}}.$$

Beispiel. Ein Fluß, dessen Querprofil 100′ Umfang und 600□′ Inhalt hat, besizt auf 4000′ ein Gefälle von 1′; wie groß wird unter diesen Umständen seine mittlere Geschwindigkeit seyn?

Hier ist s = 600; a = 1; p = 100 und l = 4000,

also $c = 91\sqrt{\frac{600}{100 \times 4000}} = 91\sqrt{0{,}0015} = 3{,}55$ Fuß.

Beispiel. Ein rechtwinklichtes Gerinne ist 3′ breit und 1′ hoch und das Gefälle auf 600′ 1′; wie groß wird die Geschwindigkeit des Wassers seyn?

Hier ist s = 3 und p = 5 und l = 600.

Also $c = 91\sqrt{\frac{3}{5 \times 600}} = 91\sqrt{0{,}001} = 91 \times 0{,}0316$ $= 2{,}87$ Fuß.

§. 685. Wäre nun s größer oder p kleiner, so ergäbe sich eine größere Geschwindigkeit.

Man ersieht hieraus, warum Flüsse, wenn sie anschwellen, fast immer geschwinder laufen; der Querschnitt s nimmt in diesem Fall gewöhnlich weit mehr zu, als der Umfang des Bettes p.

Beispiel. Mit welcher Geschwindigkeit fließt das Wasser in einem Bette von rektangulärem Durchschnitt, 100′ Breite und $^1/_{3000}$ Gefälle, wenn es 6′ tief, und mit welcher, wenn es 12′ tief ist?

Im ersten Falle ist s = 600 und p = 112′

$$\text{und } c = 91\sqrt{\frac{600}{336000}} = 3{,}86'.$$

Im zweiten Falle ist s = 1200 und p = 124,

$$\text{und } c = 91\sqrt{\frac{1200}{372000}} = 5{,}18'. \text{ —}$$

Im ersten Falle fließen 600 × 3,86 = 2316 Kubikfuß Wasser per Sekunde durch, und im zweiten 1200 × 5·18 = 6216 Kubikfuß oder beinahe 3mal so viel.

Denn die per Sekunde abfließende Wassermenge oder $m = c \times s$.

§. 686. Da der Widerstand desto kleiner ist, je kleiner der Umfang des Wasserbettes im Verhältniß zum Inhalt desselben ist, so ist die Gestalt, die man dem Stromprofile gibt, keineswegs gleichgültig.

Unter allen würde ein halbkreisförmiges am vortheilhaftesten seyn, weil die Kreisfläche den kleinsten Umfang hat; ein solches ist aber fast unausführbar.

Unter den vierseitigen hat das halbe Quadrat (Fig. 306) den kleinsten Umfang; wo $h = \frac{1}{2}b$.

Unter den trapezförmigen würde das halbe reguläre Rechteck den Vorzug verdienen, wenn die Seiten nicht oft zu steil wären.

Passender ist die (Fig. 307) angegebene Form; gibt man dem Boden b 2, der Höhe 3 und jeder Seite n 5 Theile, so hat die obere Breite B 10 Theile, und sowohl der Umfang als der Inhalt (Querschnittfläche) dieses Profils werden ganz gleich seyn einem halbquadratischen, das 3 Theile zur Höhe und 6 zur Breite hat.

Beide Profile werden daher als gleichgeltende betrachtet werden können; und sezt man die Höhe $= h$,

so ist der Umfang $p = 4h$

und der Inhalt $s = 2h^2$

und also $c = 91 \sqrt{\frac{h}{2l}}$.

$$m = 2h^2c = 182\ h^2 \sqrt{\frac{h}{2l}}.$$

§. 687. Bei allen vorstehenden Berechnungen war indessen von der mittleren Geschwindigkeit die Rede; die wirkliche Geschwindigkeit aber ist in den verschiedenen Theilen des Querschnitts theils größer, theils kleiner. Da nämlich der Lauf des Wassers hauptsächlich durch die Berührung mit dem Flußbette verzögert wird, so muß, obschon sich der Widerstand auf alles Wasser fortpflanzt, die Wirkung doch in dem Maße abnehmen, als das Wasser vom Boden und dem Ufer entfernt ist; und in

jedem fließenden Wasser wird dasselbe daher in der Mitte und nahe an der Oberfläche am schnellsten, und dicht am Boden und an den Ufern am langsamsten fließen. *)

Dies lehrt auch die Erfahrung. So gaben z. B. Versuche im Arnoflusse:

bei 2′	unter	der	Oberfläche	38, 4″	Geschwindigkeit,
„ 4′	„	„	„	37,2″	„
„ 6 2/3′	„	„	„	36,2″	„
„ 10 1/2′	„	„	„	35	„
„ 13 1/2′	„	„	„	33 1/2	„
„ 16 1/2′	„	„	„	30	„

Soll also die mittlere Geschwindigkeit nach Beobachtung der wirklichen an der Oberfläche eines Flusses abgeschätzt werden, so ist diese Verminderung in Anschlag zu bringen; die Berechnung aber um so verwickelter, je ungleicher die Tiefe des Querprofils ist.

§. 688. Vorrichtungen, wodurch die Geschwindigkeit eines fließenden Wassers gemessen werden kann, heißen Strommesser. Man hat deren mancherlei. Das einfachste Mittel ist eine schwimmende (hohle) Kugel a Fig. 308. Taucht diese in das Wasser ganz ein, bewegt sie sich längst der Stromlinie, und ist das Wetter windstill, so kommt ihre Geschwindigkeit ohne Zweifel der des Flusses gleich — und legt eine solche hiemit (im Mittel von wiederholten Versuchen) eine vorher gemessene Distanz von 330′ z. B. in 88 Sekunden zurück, so muß die Geschwindigkeit des Wassers $= \frac{330}{88}$ oder $3\frac{3}{4}'$ per Sekunde seyn.

---

*) Und weil das Wasser in der Mitte schneller als an den Ufern fließt und deßhalb weniger Druck ausübt, steht es in der Mitte um ein Geringes höher, so daß der Wasserspiegel keine vollkommene Horizontalfläche bildet.

Um die Geschwindigkeit an einer bestimmten Stelle zu messen, kann ein leichtes Rad (wie Fig. 309) dienen, dessen Axe a, wenn es sich dreht, einen Faden aufwickelt, so daß man die Umgänge zählen kann; denn ist die Axenreibung so viel als Null, so wird die Mittellinie der kleinen Schaufeln fast genau mit der Geschwindigkeit des Wassers sich bewegen. Macht also ein Rädchen, dessen mittlerer Umfang 4′ beträgt, in 1 Min. 50 Umgänge, so findet sich die Geschwindigkeit $= \frac{4 \cdot 50}{60} = 3^1/_3$, per Sek. Andere Vorrichtungen eignen sich zugleich, die Geschwindigkeit unter der Wasserfläche zu messen; so die Pitot'sche Röhre, der Stromquadrant, der hydrometrische Flügel u. a. m.

Die erste besteht aus einer Glasröhre a (Fig. 310), an deren unterm Ende eine trichterförmige Erweiterung b ist, die gegen den Strom gekehrt wird. In einem ruhenden Wasser wird es in der Röhre bis n steigen (oder wegen der Adhäsion etwas höher), merklich höher aber, wenn ein fließendes Wasser gegen b drückt; steigt es um no, so wird no gerade der Druckhöhe h gleich (oder proportional) seyn, welche die Geschwindigkeit c erzeugt. Man wird also, da $c = \sqrt{60\,h}$ (in Fußen), die Geschwindigkeit c auch so leicht finden können.

Steigt z. B. das Wasser in der Röhre um $^1/_2{}'$, so ist $c = \sqrt{30'} = 5',48$.

Der Stromquadrant (Fig. 311) kann zu demselben Zwecke dienen, indem das in den Fluß tauchende Pendel a um einen desto größeren Winkel b von der senkrechten Linie abweichen wird, je größer die Geschwindigkeit des Wassers ist.

§. 689. Kennt man den Querschnitt (Querprofil) und die Geschwindigkeit eines fließenden Wassers, so findet sich leicht die Menge Wasser, die in einer gegebenen Zeit wegfließt. Auch bei Flüssen sogar läßt sie sich also berechnen, insofern beide Größen ziemlich genau bemessen würden. Ist der Querschnitt abcd (Fig. 312) = 350 □′ und die mittlere Geschwindigkeit

= 5′, so muß per Sekunde 5 × 350 oder 1050 Kubikfuß Wasser vorbeifließen. Steigt das Wasser bis np, so daß der Querschnitt = 600 □′ wird, und die Geschwindigkeit = 5′, so fließen nun 3000 Kubikfuß durch, oder fast 3mal so viel.

Die Geschwindigkeit in einem Flusse ist stellenweise sehr verschieden. Je seichter die Ufer sind, desto ungleicher ist die Geschwindigkeit in der Mitte und am Ufer. Wird ein Fluß bei gleichem Gefälle breiter und seichter, so verändert sich sofort die Geschwindigkeit. Umgekehrt nimmt sie oft ausnehmend zu, wenn das Bett (durch Felsen oder auch nur durch Brückenpfeiler) bedeutend verengert wird. Macht das Wasser schlangenförmige Krümmungen, so nimmt gewöhnlich die Geschwindigkeit um Vieles ab, weil das Gefälle sich mit der Verlängerung des Bettes vermindert. Zugleich hat aber die Geschwindigkeit des Wassers einen sehr wesentlichen Einfluß auf das Flußbett selbst. Je lockerer nämlich der Boden ist und je größer der Anstoß des Wassers, desto leichter wird derselbe ausgewaschen werden. Wo die Schnelligkeit zunimmt, wird das Bett erweitert und und vertieft, wo sie abnimmt, werden umgekehrt Steine und Sand abgesezt, die das Wasser nur bei größerer Geschwindigkeit fortführt. Bei Krümmungen wird das Flußbett von selbst also immer höher und breiter, so daß endlich Versumpfungen entstehen. Umgekehrt wird ein auch nur schmaler Durchstich b (Fig. 313) sehr bald oft abhelfen; denn ist b viel kürzer als die Krümmung a, so erlangt das Wasser in b eine größere Geschwindigkeit und erweitert allmählig selbst diese Lunette, wie man solche Gräben nennt, so daß endlich kein Wasser durch a fließt.

Klar ist ferner, daß bei Krümmungen die hohle Uferseite a (Fig. 314) von dem Anstoß des Wassers weit mehr leiden muß, als die entgegengesezte, so wie auch auf dieser Seite der Lauf etwas geschwinder ist. Man sucht daher oft durch schiefe Dämme oder S p o r e n op die Gewalt des Wassers zu brechen. Eine solche Spore muß dann so gestellt seyn, daß das in der

Richtung i anprellende und unter gleichem Winkel nach k zurückgetriebene Wasser durch die nun zugleich wirkende Strömung des Flusses geraderecht getrieben würde.

Da bei dem mindesten Gefälle schon eine Wassermasse fortfließt, so kann man an einzelnen Stellen einen senkrechten Wasserfall erhalten, wenn man wie Fig. 315 eine Kanalstrecke ab in 2 unmerklich sich neigende Strecken ac und db theilt. Völlig horizontale werden hingegen angelegt und der Fall bei cd durch eine Schleuße versperrt seyn müssen, soll das Wasser, wie bei den Schifffahrtskanälen, keinen Lauf haben.

6.

Ausfluß des Wassers aus Oeffnungen.

§. 690. Hat der Boden eines mit Wasser gefüllten Gefäßes A (Fig. 316) eine Oeffnung a, so wird das Wasser ausfließen, und in derselben Zeit um so mehr, je weiter a ist und je größer die Geschwindigkeit des Wasserstrahls; die leztere aber wird unstreitig von dem Druck des Wassers abhängen, und also von der Höhe (h) der über a befindlichen Wassersäule. Bei doppelter Höhe wird der Druck 2mal, bei 4facher 4mal größer seyn.

Die Geschwindigkeit kann indessen nicht im geraden Verhältnisse der zunehmenden Druckhöhe wachsen, denn bei doppelter Geschwindigkeit müssen zugleich 2mal mehr Wassertheile ausfließen; und es gehört dazu ein 4mal größerer Druck oder eine 4fache Druckhöhe. Die Geschwindigkeit wird also wie die Quadratwurzeln der Druckhöhe zu- oder abnehmen: und dies bestätigen auch alle Erfahrungen.

Hat man 3 Gefäße mit ganz gleich weiter Oeffnung a, wovon das eine bis auf 1′, das zweite bis auf 4′, das dritte bis auf 9′ mit Wasser gefüllt ist und die bis zu dieser Höhe immer gefüllt bleiben, so fließt aus dem zweiten in derselben Zeit die

doppelte und aus dem dritten die dreifache Menge Wasser aus, als aus dem ersten, und die Geschwindigkeit muß also im zweiten die zweifache und im dritten die dreifache seyn.

Dasselbe gilt, wenn kleine Oeffnungen an der Seitenwand des Gefäßes vorhanden sind. Ist i (Fig. 316) 4′ und k 9′ unter dem Niveau n, so verhält sich die Geschwindigkeit des durch dieselben ausfließenden Wassers wie 2 : 3 oder überhaupt wie $\sqrt{ni} : \sqrt{nk}$.

§. 691. Die Geschwindigkeiten des aus Oeffnungen ausfließenden Wassers verändern sich hiemit gerade, wie die der fallenden Körper: denn auch diese verhalten sich wie die Quadratwurzeln der Fallhöhen. (S. 1r Band, S. 57.)

Weitere Erfahrungen zeigen aber eine noch vollkommenere Uebereinstimmung dieser Gesetze.

Hat (Fig. 317) das bis n mit Wasser gefüllte Gefäß B bei a eine kleine Oeffnung, so wird das ausfließende Wasser in die Höhe steigen, und zwar beinahe bis zur Linie n. Es ist sogar anzunehmen, daß der aufwärts springende Strahl diese Höhe ganz erreichte, wenn er nicht verschiedenen Widerstand zu überwinden hätte.

Ist dies aber anzunehmen, so muß das Wasser aus a mit derselben Geschwindigkeit aufsteigen, die es durch den freien Fall von n bis a erlangte, und sofern wir $na = h$ setzen, so muß die Geschwindigkeit, mit der es aufsteigt, $= 2\sqrt{gh}$ (per Sekunde) seyn.

Es ergibt sich demnach das Gesetz: daß, nennt man h die Höhe des Wasserstands über einer Oeffnung a, das Wasser mit der Geschwindigkeit $v = 2\sqrt{gh}$ (per Sekunde) ausfließen wird.

Und die Erfahrung bestätigt auch dieses Gesetz vollkommen.

Nennen wir f den Querschnitt des Wasserstrahls, so wird die Wassermasse = m, die in t Sekunden ausfließt, seyn, oder

$$m = f \times t \times 2\sqrt{gh}.$$

Beispiel. Wieviel Wasser fließt aus einer Oeffnung in 20 Sekunden, wenn das Wasser fortwährend $6^2/_3{}'$ über derselben steht und der Wasserstrahl 1 □″ dick ist?

$$\text{Hier ist } f = 1 \,\square'' = \frac{1}{144} \,\square'$$

$$\text{und } m = \frac{1}{144} \times 20 \times 2 \cdot \sqrt{15 \times 6^2/_3} = \frac{1}{144} \times 20 \times 20 = \frac{400}{144}$$

oder $2^7/_9$ Kubikfuß.

Befindet sich die Oeffnung in einer Seitenwand, so ist für h der Wasserstand über die Mitte der Oeffnung zu setzen.

§. 692. Man sollte glauben, daß m oder die per Sekunde ausfließende Menge Wassers sich auch finden lasse, wenn man den Querschnitt der Oeffnung oder a mit der Geschwindigkeit multiplizirt. Fast immer erhält man dann aber m zu groß. Es rührt dies entweder daher, daß der Wasserstrahl wirklich einen kleineren Durchmesser hat, als die Oeffnung, indem er sich etwas contrahirt, oder daher, daß die Bewegung in der Oeffnung etwas verzögert wird. Welches indessen die Ursache ist, so muß die Wassermenge richtig gefunden werden, wenn man statt a einen Faktor f annimmt und das Verhältniß von f zu a durch Versuche sorgfältig ausmittelt.

Die Erfahrung lehrt nun Folgendes:

1) Ist die Oeffnung in einer ganz dünnen Wand angebracht, so hat eine sichtbare Contraktion des Wasserstrahls dicht vor der Oeffnung statt (wahrscheinlich weil die Wassertheile convergirend gegen sie anströmen), und f verhält sich zu a wie 0,618 : 1, oder bei hohem Wasserdruck sogar wie 0,615 : 1. Für Oeffnungen in dünnen Wandungen ist also f = 0,62a.

2) Fließt das Wasser durch eine in einer dicken Wand angebrachte Oeffnung oder durch eine kurze Ausflußröhre (die etwa 2 — 4mal länger als weit ist), so findet sich f = 0,82a.

3) Ist die Ansatzröhre viel länger, so wird f wieder bedeutend kleiner, weil dann der Strahl zwar die Röhre füllend ausläuft, aber durch die Berührung der Röhre bedeutend verzögert wird.

(Bei 14facher Länge fand man z. B. f = 0,76 a; bei 30facher f = 0,7a u. s. w.)

4) Fließt das Wasser durch eine kurze konische Ansatzröhre, deren äussere Mündung um etwa $^1/_4$ enger ist, als die innere, so ist f = 0,92 a oder noch größer, wenn a die Sektion der äussern Mündung bezeichnet.

5) Läßt man endlich das Wasser durch eine nach aussen weitere Röhre ausfließen, so erhält man f sogar größer als a (bisweilen um $^1/_3$ oder $^1/_2$), was daher zu rühren scheint, daß der große Umfang der Röhre anziehend auf die Wassertheile wirkt und den Durchgang durch die innere Oeffnung a beschleunigt.

§. 693. Nachstehende Tabelle gibt die Ausflußmenge an, die nach Bossuts Versuchen zwei kreisrunde Oeffnungen von 1″ Diameter ($^{11}/_{14}$ □″ Weite) bei verschiedener Druckhöhe in 1 Minute lieferten, wovon die eine x in einer ganz dünnen Platte angebracht, die andere y mit einem 2″ langen Ansatzrohr versehen war. Die vierte Columne gibt die theoretische Wassermenge wenn f = a wäre) an.

Druckhöhe.	Kubikzoll Wasser		per Minute
	von x.	von y.	theor.
1 Fuß.	2722	3539	4395
2 „	3846	5002	6215
4 „	5436	7070	8789
6 „	6654	8654	10764
9 „	8135	10579	13184
12 „	9384	12205	15223
15 „	10472	13620	17020

Man sieht, daß die Ausflußmengen aus x in der dünnen Platte sich zur theoretischen verhalten wie 0,615 : 1 bis 0,619 : 1, und die von y mit kurzem Rohr wie 0,805 : 1 oder 0,8 : 1, und ebenso daß bei 4′ und 9′ Höhe die Ausflußmengen 2 und 3mal größer sind, als bei 1′ u. s. w.

§. 694. Es leuchtet demnach ein, daß, ist das Verhältniß von f : a zuverläßig bestimmt, sich genau nicht nur die Ausflußmenge für jede Oeffnung und Druckhöhe, sondern eben so

die Größe der Oeffnung, die nöthige Höhe des Wasserstands ꝛc. berechnen lassen.

Nennt man m die in t Sekunden ausfließende Wassermenge, h die Wasserhöhe über der Oeffnung und f den statt a nach der Beschaffenheit der Oeffnung anzunehmenden Querschnitt derselben, so ist:

$$m = tf \times \sqrt{4gh}.$$

$$t = \frac{m}{f \times \sqrt{4gh}}$$

$$f = \frac{m}{t \times \sqrt{4gh}}$$ (woraus leicht a zu finden),

und $2\sqrt{gh}$ oder $\sqrt{4gh} = \frac{m}{tf}$ und dies $= v$.

$$4gh = v^2 \text{ und } h = \frac{v^2}{4g}.$$

Aus folgenden Re nungsbeispielen erhellt, wie diese 4 Formeln anzuwenden sind.

Bei Rechnungen in PariserFuß ist $= \sqrt{4gh} = \sqrt{60 \times h}$ oder (der Kürze wegen) $\sqrt{60h}$,

in englischen Fußen $\sqrt{64h}$,

in rheinländischen Fußen $\sqrt{62{,}5\,h}$,

in Metern $= \sqrt{19{,}6\,h}$.

Beispiel. 1) Wie viel Wasser liefert eine runde Oeffnung von 2″ Diameter in einer ganz dünnen Wand in 1 Minute, wenn das Wasser über der Oeffnung fortwährend 10′ hoch steht?

$a = \frac{11}{14} \times 2^2 = \frac{22}{7}$ □″ und $f = 0{,}615 \times \frac{22}{7} = 1{,}93$ □″ $= \frac{1{,}93}{144}$ □′, $t = 60$, $h = 10$. Also

$$m = 60 \times \frac{1{,}93}{144} \times \sqrt{600} = 19{,}8 \text{ Kubikfuß.}$$

Beispiel. 2) Wie viel Wasser liefert eine Oeffnung mit kurzer Vorsatzröhre, die 2 □″ weit ist, in 24 Sekunden, wenn das Wasser stets 6′ hoch steht?

Hier ist $a = 2$ und $f = 0,82 \times a = 1,64$ □″
$t = 24$ und $h = 6$.

$$\text{Also } m = 24 \times \frac{1,64}{144} \times \sqrt{60} \times 6 = 5,19 \text{ Kubikfuß.}$$

Beispiel. 3) In wieviel Sekunden liefert eine Oeffnung von 2″ Diameter in einer dünnen Wand, wenn die Wasserhöhe 12′ ist, 20 Kubikfuß Wasser?

Wir fanden oben $f = \frac{1,93}{144}$ □′
$t = 24$ und $h = 12$.

$$\text{Also } t = \frac{20}{\frac{1,93}{144} \times \sqrt{60 \times 12}} = \frac{2880}{1,93 \times 27} = 55 \text{ Sek.}$$

Beispiel. 4) In wieviel Sekunden liefert eine kurze Ansatzröhre von 6 □cm Weite, bei $3^1/_2$ Meer Wasserhöhe, 890 Kilogramme Wasser?

800 Kil. = 800 Kub.-Dezimeter = 0,8 Kub.-Meter = m.

$$a = \frac{6}{10000} = 0,0006 \text{ □Met. und } f = 0,82\,a = 0,000492 \text{ □Met.}$$

$$h = 3,5 \times \sqrt{4gh} = \sqrt{19,6 \times 3,5} = 8,3$$

$$\text{also } t = \frac{0,8}{0,000492 \times 83} = 195 \text{ Sekunden.}$$

Beispiel. 5) Welchen Durchmesser muß eine runde Oeffnung in einer dünnen Wand haben, damit bei einem Wasserdruck von 10′ in 1 Minute 20 Kubikfuß Wasser ausfließen?

$$\text{Wir haben } f = \frac{20}{60 \times \sqrt{600}} \; 19,6 \text{ □″},$$

der Querschnitt der Oeffnung a muß aber bei dünnen Wänden im Verhältniß von 1 : 0,615 größer seyn; also

$$\text{wird } a = \frac{1,96}{0,615} = 3,19 \text{ □″}.$$

Das □, das einen Kreis von 3,19 □″ Flächeninhalt einschließt, ist $= \frac{14}{11} \times 3,19 = 4,06$ □″.

Der gesuchte Durchmesser muß also um ein Unbedeutendes größer als 2″ seyn. (Vergl. Beisp. 1.)

Beispiel. 6) Wie hoch muß der Wasserstand seyn, damit eine kurze Ausflußröhre von 2 □″ Weite in 24 Sekunden 10 Kubikfuß Wasser liefere?

Hier ist $m = 10$; $t = 24 : f = 0{,}82 \times 2 = 1{,}64\ \square''$ oder $\frac{1{,}64}{144} = 0{,}0114\ \square'$,

$$\text{also } \frac{m}{t\,f} = \frac{10}{24 \cdot 0{,}0114} = \frac{10}{0{,}2736} = 36{,}5 = v$$

$$v^2 = 1332{,}25 \text{ und } \frac{v^2}{4g} \text{ oder } h = \frac{1332{,}25}{60} = 22{,}2'.$$

Wir fanden (Beispiel 2), daß eine gleiche Oeffnung bei 6′ oder einer 4mal kleinern Druckhöhe etwa halb so viel Wasser liefert.

§. 695. Für die Praxis lassen sich die Formeln noch also vereinfachen.

Da $2\sqrt{gh}$ oder $\sqrt{4gh} = \sqrt{4g} \times \sqrt{h}$

und $\sqrt{4g}$ in Pariser Fußen $= 7{,}74$

in rheinländischen $= 7{,}9$

und in englischen $= 8$,

so ist, wenn $f = 0{,}63\,a$ bei dünnen Platten, oder $= 0{,}82$ bei kurzen Ansatzröhren angenommen wird, für 1 Sekunde

$$m = f \times \sqrt{4g} \times \sqrt{h},$$

bei dünnen Platten:

in Pariser Fußmaaß $m = 0{,}63\,a \times 7{,}74 \times \sqrt{h} = 4^8/_9\,a\,\sqrt{h}$

in rheinl. „ $m = 5\,a\,\sqrt{h}$

in engl. „ $m = 5{,}1\,a\,\sqrt{h}$

und bei kurzen Ausflußröhren:

in Pariser Maaß $m = 6{,}2\,a\,\sqrt{h}$

in rheinl. „ $m = 6{,}47\,a\,\sqrt{h}$

in engl. „ $m = 6{,}55\,a\,\sqrt{h}$.

In vielen Fällen mag daher zu setzen seyn:

in Pariser Maaß $m = 5^1/_3\ a \cdot \sqrt{h} = 5{,}33\,a\,\sqrt{h}$

in rheinl. „ $m = 5^2/_3\ a \cdot \sqrt{h} = 5{,}67\,a\,\sqrt{h}$

in engl. „ $m = 5^4/_5\,a \cdot \sqrt{h} \cdot = 5 \cdot 8\,a\,\sqrt{h}$

und $a = \frac{m}{5 \cdot 33\sqrt{h}}$ u. s. w.

und $h = \frac{m^2}{28{,}4a^2}$ u. s. w.

7.

Vom Ausfluß des Wassers durch eine oben offene Oeffnung.

§. 696. Bei Seitenöffnungen wie Fig. 316, deren Höhe im Verhältniß zur Wasserhöhe klein ist, kann man, ohne einen beträchtlichen Irrthum zu begehen, die Wasserhöhe bis zur Mitte der Oeffnung für die mittlere Geschwindigkeitshöhe annehmen. — Bei einer eingeschnittenen oder oben offenen rektangulären Oeffnung, bei B Fig. 318, ist diese Annahme aber nicht thunlich, da die verschiedenen Geschwindigkeiten des oben und unten ausfließenden Wassers sich nicht kompensiren.

Der Ausfluß durch solche Oeffnungen muß also anders berechnet werden.

Die Geschwindigkeiten verhalten sich, wie oben gezeigt, wie die Quadratwurzeln der Druckhöhen. Gesezt also, in der Wand AB (Fig. 319) seyen mehrere kleine Oeffnungen n, o, p vorhanden, so verhält sich die Geschwindigkeit der aus denselben fließenden Wasserstrahlen wie $\sqrt{na} : \sqrt{oa} : \sqrt{pa}$, und sind diese Größen $= nx$, oy und pz, so haben wir

$$nx : oy : pz = \sqrt{na} : \sqrt{oa} : \sqrt{pa} \text{ und}$$

$$\overline{nx}^2 : \overline{oy}^2 : \overline{pz}^2 = na : oa : pa.$$

Dasselbe gilt für jede andere in der senkrechten Linie AB angebrachte Oeffnung. Denkt man sich also statt vieler einzelnen Oeffnungen einen schmalen Einschnitt, so wird die Distanz der krummen Linie xyz von AB für jeden Punkt des Einschnittes die Geschwindigkeit des dort herausfließenden Wassers anzeigen, und die krumme Fläche axyzp die in einer Sekunde aus dem Einschnitt oder der Spalte ausfließende Wassermenge.

Jene krumme Linie ist aber, wie die Geometrie lehrt, unter obigen Bedingungen keine andere, als eine Parabel, und der Inhalt dieser Parabelfläche $= \frac{2}{3}\, ap \times pz$.

Nennen wir die Tiefe des Einschnitts (ap) h und die Breite b, so erhalten wir, da v oder die Geschwindigkeit am tiefsten Theile des Einschnitts (pz) $= 2\sqrt{gh}$, die Ausflußmenge per Sekunde oder $m = \frac{2}{3} h \times 2 \sqrt{gh} \times b$.

Und nennen wir y den Koeffizienten der Verminderung, die sich wegen der Beschaffenheit der Oeffnung ergibt, so finden wir

$$m = \frac{2}{3} h \times 2 \sqrt{gh} \times yb$$

oder für eine Spalte in dünnen Wänden:

$$m = \frac{2}{3} bh \times 4{,}84 \sqrt{h} \text{ u. s. w.}$$

Beispiel. Der Einschnitt A (Fig. 320) sey 4′ tief und 6″ breit und in einer dünnen Wand eingeschnitten, wieviel Wasser wird in 1 Minute auslaufen, wenn der Behälter B stets voll bleibt?

Hier ist $b = \frac{1}{2}'$, $h = 4'$, $\sqrt{h} = 2$,

also $m = \frac{2}{3} \times 2 \times 4{,}84 \times 2 = 12{,}90$ Kubikfuß und in 1 Minute 774 Kubikfuß.

Beispiel. Wieviel Wasser fließt aus einem See durch eine oben offene Oeffnung ohne Flügelwände, die 3′ breit und 2′ tief ist.

Hier ist $h = 2$, $b = 3$, die unterste Geschwindigkeit $v = 5 \sqrt{2} = 7{,}05$.

Also $m = \frac{2}{3} \times 3 \times 2 \times 7{,}05 = 28{,}2$ Kubikfuß.

§. 697. Aus dem eben angegebenen Verfahren ergibt auch eine Methode noch genauer den Ausfluß aus einer großen und rectangulären, oben nicht offenen Oeffnung zu berechnen.

Es sey A (Fig. 321) diese Oeffnung, so berechne man zuerst, wieviel Wasser aus einem Einschnitte nopq und dann wie viel aus einem Einschnitte nrsq ausfließen würde; die Differenz gibt den Ausfluß aus rops oder A.

Hat A indessen keine sehr beträchtliche Höhe, so ergeben beide Berechnungsarten keinen bedeutenden Unterschied, und in den meisten Fällen kann daher das Frühere, wo der mittlere Abstand von A als Geschwindigkeitshöhe oder h angenommen wird, genügen.

8.

Ausfluß des Wassers aus Gefäßen ohne Zufluß.

§. 698. Fließt Wasser aus einem Gefäße, das keinen Zufluß hat, so sinkt allmählich der Wasserstand; die Druckhöhe vermindert sich und hiemit auch die Geschwindigkeit, mit der das Wasser ausfließt.

Die Geschwindigkeit nimmt wie die Quadratwurzel der Druckhöhe ab, also gerade so, wie die eines senkrecht in die Höhe geworfenen Körpers. Da nun ein solcher gerade halb so hoch steigt, als er bei unveränderter Geschwindigkeit steigen würde, so muß auch bei einer auf gleiche Weise abnehmenden Geschwindigkeit des Wassers halb so viel ausfließen, als bei unveränderter Geschwindigkeit ausfließen würde. Daraus folgt, daß wenn ein Gefäß m Kubikfuß Wasser enthält und t Sekunden erfordert werden, damit alles Wasser durch eine am Boden angebrachte Oeffnung ausfließe (falls durch steten Zufluß das Gefäß immer voll bliebe), — 2 t Sekunden nöthig sind, damit es sich leere, sobald kein Zufluß statt hat.

Dies läßt sich auch also erweisen: Ist h die Höhe des Wasserstandes im Gefäße A (Fig. 316), so läuft das Wasser, falls es voll bleibt, bei a stets mit der Geschwindigkeit $2\sqrt{gh}$ aus; hat aber kein Zufluß statt, so ist nur Anfangs die Geschwindigkeit $= 2\sqrt{gh}$, am Ende aber $= 0$ und im Mittel also $= \sqrt{gh}$. Braucht es also t Sekunden, damit m Wasser mit $\sqrt{gh}$ Geschwindigkeit auslaufe, so wird es 2 t Sekunden erfordern, wenn die mittlere Geschwindigkeit nur halb so groß oder $= \sqrt{gh}$ ist.

§. 699. Dieses Gesetz wird übrigens durch die Erfahrung bestätigt. Es gilt indessen offenbar nur für Gefäße, die überall gleich weit sind, nicht für pyramidal- oder kegelförmige, die sich allmählich verengen. Solche bedürfen weniger Zeit, weil die Druckhöhe schneller abnimmt.

Beispiel. In wieviel Zeit wird ein rechtwinklicher Wasserbehälter, der 10′ lang, 4′ breit und 5′ tief ist, leer, wenn das Wasser am Boden durch eine Oeffnung von 4 □″ Weite abläuft?

Bliebe der Behälter voll, so wäre

$$t = \frac{m}{f \times \sqrt{4gh}} = \frac{m}{2f \times \sqrt{gh}}$$

Da doppelt so viel Zeit, ohne Zufluß, erforderlich ist (oder f doppelt so groß seyn muß), so haben wir

$$t = \frac{2m}{2f \times \sqrt{gh}} = \frac{m}{f\sqrt{gh}}$$

$m = 10 \times 4 \times 5 = 200$ Kubikfuß,
$h = 5$ und $f = 0{,}62\,a$ (falls die Abflußöffnung in einer dünnen Wand ist).

Da $a = 4$ □″ oder $\frac{1}{36}$ □′, so ist

$$t = 0{,}62 \times \frac{1}{36} = 0{,}0172 \text{ □′ und}$$

$$t = \frac{200}{0{,}0172 \times \sqrt{75}} = \frac{200}{0{,}1489} = 1343 \text{ Sekunden.}$$

§. 700. Fragt man, wieviel Zeit erfordert wird, damit das Wasser bis zu einer gewissen Höhe gesunken, oder bis ein gewisser Theil des Behälters geleert sey, so läßt sich dies auf eine doppelte Art finden:

Man kann 1) die Zeit berechnen, die zum Abfließen des großen Behälters nöthig wäre, und dann die, welche bloß zum Auslaufen des übrig bleibenden Wassers erforderlich wäre. Aus dem Unterschied bei den Zeiten wird sich offenbar die gesuchte Zeit ergeben.

Oder man kann 2) aus der Geschwindigkeit am Anfang und der am Anfang des verlangten Ausflusses die mittlere bestimmen, und darauf berechnen, wieviel Zeit zum Ausfließen der angegebenen Quantität Wasser bei dieser mittleren Geschwindigkeit nöthig ist.

Einige Beispiele werden dieses Verfahren erläutern.

Beispiel. Wieviel Zeit braucht es, bis obiger Behälter (von 10′ Länge, 4′ Breite und 5′ Tiefe) bis auf 1′ vom Boden leer ist?

1) Wir haben gesehen, daß es 1343 Sekunden braucht, damit alles Wasser auslaufe; wäre in demselben Behälter nur 1′ hoch Wasser (40 Kubikfuß) vorhanden, so würde dieses in 600 Sekunden auslaufen. Denn

$$t = \frac{m}{f\sqrt{gh}} = \frac{40}{0{,}0172\sqrt{15}} = \frac{40}{0{,}0667} = 600.$$

Um also bis auf 1′ sich zu entleeren braucht es 1343 — 600 oder 743 Sekunden Zeit.

Oder 2) es sollen 4 × 10 × 4 = 160 Kubikfuß Wasser auslaufen (m).

Im Anfang, wenn das Wasser 5′ hoch steht, ist die Geschwindigkeit $= \sqrt{60} \times 5 = 17{,}32$

Am Ende, d. h. bei 1′ Tiefe $= \sqrt{60} \times 1 = 7{,}74$

Die mittlere ist also $v = \frac{25{,}96}{2} = 12{,}53.$

Wir finden hiemit $\left(t = \frac{m}{5\,v}\right)$

$$t = \frac{160}{0{,}0172 \times 12{,}53} = \frac{160}{0{,}2155} = 741$$

wie nach der ersten Methode.

Beispiel. Ein Behälter sey 100 □′ weit und 10′ tief; am Boden sey eine Oeffnung von 3 □″ mit kurzem Ansatzrohre. In wie viel Zeit wird das Wasser um 6′ sinken?

$a = 3$ □″ und $f = 0{,}82 \cdot 3 = 2{,}46$ □″ oder $\frac{246}{14400}$ □′

Damit der ganze Behälter sich leere, braucht es

$$\frac{2\,m}{f \cdot \sqrt{60\,h}} = \frac{2 \times 100 \times 10}{2{,}45 \times \frac{246}{14400}} = 4778 \text{ Sekunden.}$$

Damit er sich leere, wenn das Wasser nur noch 4′ hoch steht (wo m also = 400 und h = 4), braucht es

$$\frac{800}{f \cdot \sqrt{60 \cdot 4}} = \frac{800}{15{,}3 \times \frac{246}{14 \cdot 400}} = 3060 \text{ Sekunden.}$$

Damit das Wasser um 6′ sinke, also 4778 — 3060 Sek.

Oder nach der zweiten Berechnungsart. Es sollen 600 Kubikfuß ausfließen. (m)

Die Geschwindigkeit am Anfange ist $\sqrt{600} = 24{,}5$
„ „ am Ende $\sqrt{240} = 15{,}3$

Die mittlere also $\frac{39{,}8}{2} = 19{\cdot}9$

hiemit $t = \frac{600 \cdot 14400}{246 \cdot 19{,}9} = 1760$ Sekunden.

9.

Ausfluß in andere Behälter.

§. 701. Wir haben noch den Fall zu betrachten, wo das Wasser sich aus einem Behälter in einen andern, seitwärts stehenden entleert, und dieser hiemit gleichzeitig ganz oder zum Theil gefüllt wird.

A und B Fig. 322 seyen 2 Wasserbehälter und durch die Wand a b getrennt, die unten eine Oeffnung o hat. Ist A voll Wasser und B leer, so wird das Wasser von A nach B ausfließen, und so lange, bis es in beiden gleich hoch steht.

Erhält A keinen Zufluß, so ergibt sich aus der respektiven Weite beider Gefäße, wie weit das Wasser in A sinken und in B steigen würde. Sind beide gleich weit, so fällt es in A auf die halbe Höhe und steigt eben so hoch in B. Ist A 2mal weiter als B, so sinkt es in A um $\frac{1}{3}$ der Höhe und steigt in B um $\frac{2}{3}$ u. s. w.

Die Geschwindigkeit, mit der das Wasser durch o läuft, wird indessen sehr schnell abnehmen, denn da das Wasser zugleich in A fällt und in B steigt, so wird die Druckhöhe aus doppelter Ursache immer kleiner. Sie wird in jedem Augenblicke gerade so viel betragen, als der Unterschied des Wasserstandes.

Ist A = B, so daß das Wasser gerade bis auf die Mitte sinkt und steigt, so muß die Hälfte des Wassers durch o

ausfließen, darum die Geschwindigkeit Anfangs $= 2\sqrt{gh}$ ist und zulezt $= o$ und die mittlere $= \sqrt{gh}$; so frägt es sich also, in wieviel Zeit die Hälfte des Wassers durch o fließt mit der mittleren Geschwindigkeit $= \sqrt{gh}$, und auf ähnliche Art wird die Rechnung zu führen seyn, wenn A und B nicht gleich weit sind.

Sind die Gefäße 30′ hoch, enthält A 300 Kubikfuß Wasser und faßt B 100 Kubikfuß, so würde 100 Kubikfuß nach B laufen und beide auf 20′ sich füllen.

Hier ist also $m = 100$; $h = 30$, $gh = 450$ und $\sqrt{gh} = 21{,}2$.

Wäre nun die Oeffnung $= \frac{1}{10}$ oder 0,1 □′; und die reduzirte oder $f = 0{,}7 \times 0{,}1$ oder 0,07, so ist

$$t = \frac{100}{0{,}07 \times 21{,}2} = \frac{100}{1{,}5} = 66{,}6 \text{ Sekunden.}$$

§. 702. Wichtiger ist jedoch der Fall zu untersuchen, wenn A beständig voll bleibt, sey es, daß A ohne Vergleich größer als B ist, oder daß A beständig Zufluß erhält.

In diesem Falle wird der Wasserstand in A sich nicht verändern und das Wasser so lange nach B fließen, bis es auch in B gleich hoch steht, oder auch B voll seyn wird. Es kommt hiemit nicht der Raum von A, sondern bloß der Inhalt von B in Betracht; es muß offenbar so viel Wasser einfließen, als B (bis beide Niveaus gleich sind) faßt.

Auch hier nimmt indessen die Geschwindigkeit ab; im Anfange wird sie $= 2\sqrt{gh}$ (und $h = ao$) seyn, im lezten Momente $= o$ und die mittlere hiemit $= \sqrt{gh}$.

Die Zeit findet sich also wieder, oder

$$t = \frac{m}{f \cdot \sqrt{gh}}$$

und unter m ist die Kapazität des sich füllenden Raumes B zu verstehen.

§. 703. Wenden wir das Ebengesagte zur Berechnung der Zeit an, die erfordert wird, um die Schleußenkammer eines Kanals zu füllen oder zu leeren.

A sey das obere, G das untere Bett eines Kanals, B und die Schleußenkammer.

B sey 70′ lang und 8′ breit; die Höhe n o = 8′ und die Höhe des Wassers in A und C = 4′. In den Thoren p und q seyen Schützöffnungen von 2 □′ (p und q). Ist die Kammer leer und sind beide Schleußenthore P und Q geschlossen, so steht das Wasser in derselben auf dem Niveau o; und öffnet man die Schütze p, so strömt so lange Wasser ein, bis B bis n voll ist.

Bis die Hälfte der Kammer voll ist, wird das Wasser mit konstanter Geschwindigkeit einfließen, denn die Druckhöhe bleibt unverändert = n m = 4′, die Geschwindigkeit ist also $= \sqrt{4gh}$ $= \sqrt{240}$, und die Wassermenge oder $m = 4 \times 8 \times 70 = 2240$. Nehmen wir also $f = 0{,}62\,p = 1{,}24$ □, so wird

$$t = \frac{2240}{1{,}24 \times \sqrt{240}} = 118 \text{ Sekunden.}$$

Die zweite Hälfte wird aber mit abnehmender Geschwindigkeit sich füllen und die mittlere $= \sqrt{gh} = \frac{1}{2}\sqrt{240}$ seyn.

T wird daher $= 2 \times 118 = 236$,

und zur Füllung der ganzen Kammer $118 + 236 = 354$ Sekunden oder 5 Minuten 54 Sekunden erforderlich seyn.

Zur genauern Berechnung müßte freilich die Höhe m o bis zur Mitte der Oeffnung p, also etwas größer, und eben daher n m etwas kleiner als 4′ angenommen werden. Anderseits mag aber die Fraktion 0,62 für diese Fälle auch nicht konstant seyn; die obige Rechnungsart kann demnach genügen. *)

Ist die Kammer voll, so wird das Thor P geöffnet, das Schiff, das herabsteigen soll, in die Kammer gezogen, darauf P geschlossen und nun Q geöffnet, damit das Wasser in derselben bis auf das Niveau von G sinke.

---

*) Daß das einlaufende Schiff Wasser verdrängt, ändert die Rechnung nicht. Es ergibt sich daraus nur ein geringer Wasserverlust, indem das verdrängte Wasser wieder in das obere Bett zurückläuft.

Da C unverändert bleibt, so wird die Druckhöhe wie der Stand des Wassers in der Kammer über C abnehmen. Nennen wir m also die Wassermasse, die abfließen muß, hier 4480 Kubikfuß, so finden wir die Zeit, die zur Leerung nöthig ist,

$$= \frac{2m}{f \cdot \sqrt{4gh}} = \frac{m}{f\sqrt{gh}} = \frac{4480}{1{,}24 \cdot \sqrt{15 \cdot 8}} = 330 \text{ Sekunden,}$$

oder $5\frac{1}{2}$ Minuten.

Zum Füllen und Wiederleeren einer solchen Schleußenkammer würden demnach $11\frac{1}{2}$ Minuten, und zum Durchgange eines Schiffes, sonstiger Zeitaufwand inbegriffen, beinahe eine Viertelstunde erfordert.

Da indessen mittelst derselben Operation ein anderes Schiff zugleich gehoben werden kann, und da ferner die Kammer vor Ankunft des obern Schiffes gefüllt, so wie vor der des untern geleert werden kann, so braucht es, streng genommen, zum Durchgang für jedes Schiff nur etwa 7 Minuten Zeit; und in 1 Stunde werden daher etwa 8 Schiffe sowohl auf- als abwärts durch die Schleuße gelangen können.

Unschwer wird sich nach dem Obigen auch das Füllen und Leeren mehrerer neben einanderstehenden Kammern berechnen lassen.

10.

Von der Bewegung des Wassers in langen Röhren.

§. 704. Steht eine Röhre mit einem Wasserbehälter in Verbindung, so daß der Wasserspiegel höher liegt, als die Mündung der Röhre, so muß das Wasser durch leztere ausfließen. Je weiter die Röhre ist und je geschwinder das Wasser strömt, eine desto größere Menge wird in derselben Zeit durchfließen; die Geschwindigkeit aber wird zunächst durch die Höhe des Wasserstandes bedingt. Ohne Zweifel wird jedoch 1) die Weite

und Länge der Röhre einen wesentlichen Einfluß auf diese Geschwindigkeit ausüben; denn indem das Wasser mit den Wänden der Röhre in Berührung kommt, muß sich mehr oder weniger Reibung und daher ein gewisser Widerstand ergeben, den der Druck des Wassers zu überwinden hat. Ein anderes Hinderniß wird 2) vorhanden seyn, wenn die innere Fläche der Röhre mehr oder weniger rauh ist, weil Wassertheile an den Rauhigkeiten anstoßen. Ein 3tes endlich muß noch hinzukommen, wenn die Röhre nicht gerade fortläuft, sondern seitwärts oder auf- und abwärts Biegungen macht.

Diese verschiedenen Hindernisse werden den Lauf des Wassers verzögern; ein Theil des Wassers muß verwendet werden, um jene Widerstände zu überwinden, und die für die Geschwindigkeit wirksame Wasserhöhe daher oft weit geringer seyn, als die wirklich vorhandene oder h. Ist diese $= h'$, so wird die Geschwindigkeit oder v lange nicht seyn $= 2\sqrt{gh}$, wie dies statt hat, wenn keine Röhre vorhanden ist.

§. 705. Unschwer ist einzusehen, in welchen Verhältnissen jene Hindernisse größer oder kleiner werden. In zwei sonst ganz gleichen Röhren wird die Reibung sich verhalten wie die Produkte der Längen in die Durchmesser; denn je größer Durchmesser und Längen sind, desto größer ist die Berührungsfläche. Der Widerstand hingegen, den die Rauhigkeit hervorbringt, wird bei sonst gleicher Beschaffenheit der Röhre im Quadrate der Geschwindigkeit sich vergrößern, denn bei doppelter Geschwindigkeit ergeben sich 2mal mehr Stöße und jeder ist 2mal heftiger.

Der Widerstand, den Biegungen verursachen, wird endlich bei sonst gleichen Umständen sich verhalten, wie die Summe der Abweichungswinkel von der geraden Linie. Es käme hiemit nur darauf an, durch Versuche jeden einzelnen Widerstandscoeffizienten unter gegebenen Umständen auszumitteln. In den meisten Fällen läßt sich mit genügender Genauigkeit die Wassermenge, die eine lange (so viel als gerade laufende) Röhre liefert, berechnen, wenn man die Geschwindigkeit in 1 Sekunde

$$v = \sqrt{\frac{2500\,h\,d}{l}} \text{ sezt;}$$

wo h den Wasserstand oder das Gefälle, d den Durchmesser und l die Länge der Röhre (Alles in französischen Fußen) bezeichnet.

Gesezt also, eine Röhre sey 1200′ lang und 3″ (1/4′) weit, und der Wasserstand = 120′, so ist

$$v = \sqrt{\frac{2500 \cdot 120 \cdot 1/4}{1200}} = \sqrt{\frac{75000}{1200}} = \sqrt{62{,}5} = 7{,}9'.$$

Wäre die Röhre 2000′ lang und 4″ (1/3′) weit und h = 40′, so erhält man

$$c = \sqrt{\frac{500 \cdot 40 \cdot 1/3}{2000}} = \sqrt{16{,}7} = 4',09. \text{ *)}$$

§. 706. Kennt man die Geschwindigkeit, mit der das Wasser durch die Röhre läuft, so findet sich leicht die Wassermenge m, welche sie liefert.

Es ist $m = vf$ per Sekunde und $f = \frac{11}{14} d^2$;

ist hiemit $d = \frac{1}{3}'$, so ist $\frac{11}{14} d^2 = \frac{11}{14 \cdot 9} = \frac{11}{126}$ □′

und ist $v = 4{,}09$, so ergibt sich $m = \frac{45}{126}$ Kubikfuß per Sek.

Diese Röhre gibt also per Stunde $3600 \times \frac{45}{126}$ oder nahe an 1300 Kubikfuß Wasser.

Wie **weit** eine Röhre seyn muß, damit sie, wenn die Entfernung und das Gefälle gegeben sind, eine verlangte Wassermenge liefere, läßt sich zwar nicht unmittelbar nach obiger Formel berechnen, da die Geschwindigkeit, mit der das Wasser läuft, eben von der Weite abhängig ist, wohl aber durch einige Versuchsrechnungen.

Beispiel. Ein Gewerbe verlange per Minute etwa 6 Kubikfuß Wasser (also per Sekunde 1/10 Kubikfuß), wie weit

---

*) Ohne Röhre wäre die theoretische Geschwindigkeit $= 2\sqrt{gh} = 2\sqrt{15 \cdot 40} = 49$ oder mehr als 10mal größer.

muß die Leitungsröhre seyn, wenn die Länge 1600′ und das Gefälle 24′ beträgt?

Nehmen wir d = 4″ oder 1/3′ an, so wird

$$v = \sqrt{\frac{2500 \cdot 24 \cdot 1/3}{2400}} = \sqrt{\frac{200}{24}} = \sqrt{8,33} = 2,9.$$

und diese Röhre liefert per Minute (da $d^2 = 1/9$ □′)

$$60 \times 2,9 \times \frac{11}{24} \times \frac{1}{9} = 19,33$$ Kubikfuß oder etwa 3mal zu viel.

Nehmen wir d = 1/5′ an, so wird

$c = \sqrt{\frac{2500 \cdot 24 \cdot 1/5}{2400}} = \sqrt{5} = 2,22$; und die Röhre lieferte per Minute (da $d^2 = 1/25$ □′)

$$60 \times 2,22 \times \frac{11}{14} \times \frac{1}{25} = 4,2$$ Kubikfuß, also zu wenig.

Nehmen wir d = 2 2/3″ = 2/9′, so wird

$c = \sqrt{\frac{2500 \cdot 24 \cdot 2/9}{2400}} = \sqrt{5,555} = 2,4$, und die Röhre lieferte

$60 \times 2,4 \times \frac{11}{14} \times \frac{4}{81} = 5,6 =$ Kubikfuß per Minute, oder die verlangte Wassermenge.

§. 707. Bei den vorstehenden Berechnungen ist nicht nur vorausgesezt, daß die Leitung in gerader Linie fortläuft, sondern noch, daß die innern Wände möglichst glatt und rein sind. Manche Wasser setzen aber allmählich Schlamm oder Erdtheile ab, welche die Röhren uneben machen und zulezt bedeutend verengern. In solchen Fällen müssen sie daher von Zeit zu Zeit gereinigt werden können*) und zu dem Ende hie und da kurze aufrechtstehende Röhrenstücke (Visitirröhren) angebracht seyn, die mit einem hölzernen Spunde zugeschlagen werden.

Die Anlage großer Röhrenleitungen erfordert indessen noch andere Vorsichtsmaßregeln.

---

*) Da die erdige Rinde, die sich niederschlägt, meist aus kohlensauren Kalktheilen besteht, so ist solche am leichtesten durch eine verdünnte Säure, z. B. Salzsäure, wegzubringen.

Sie müssen 1) so gelegt seyn, daß das Wasser im Winter nicht gefrieren kann, weil sie sonst leicht zersprengt werden. Entsteht je Eis, so mögen die Visitirröhren dazu dienen, heißes Wasser in die Röhren zu bringen.

Da jede Leitung ferner einem Temperaturwechsel ausgesezt ist und das Eisen sich bei einer höhern Temperatur merklich ausdehnt, so müssen

2) bei eisernen Leitungen in gehörigen Entfernungen sog. Compensatiosröhren angebracht seyn. *)

3) Bei aufwärtssteigenden Biegungen sammelt sich an den höchsten Stellen allmählich Luft an, die zulezt den Durchfluß unterbricht; man muß dieser daher einen Ausweg verschaffen. Zweckmäßig ist zu diesem Behuf die Vorrichtung f. So wie sich nämlich in dem Röhrenstück a Luft anhäuft und das Wasser sinkt, sinkt auch der Schwimmer b, so daß das Ventil c sich öffnet, da die Luft entweichen muß.

4) Die Röhren müssen endlich, weil sie, wie wir sogleich sehen werden, einen beträchtlichen Druck erleiden, eine gewisse Stärke haben, und jedes Stück gegossener Röhren zumal muß vorerst daher geprüft werden, wozu man sich vorzugsweise der hydromechanischen Presse bedient.

Häufig kommen Leitungen vor, durch welche das Wasser wie in Städten aus den Hauptröhren in viele kleinere vertheilt werden soll. Wir müssen aber hier diese übergehen. **)

---

*) Die Temperatur hat übrigens auch einigen Einfluß auf die Wassermenge; denn wärmeres Wasser ist etwas flüssiger und die Geschwindigkeit daher etwas größer.

**) In Städten ist der Wasserbedarf auf etwa $\frac{1}{2}$ Kubikfuß per Kopf und per Tag zu rechnen. In England liefern die Leitungen aber meist $1\frac{1}{2}$ Kubikfuß und mehr.

11.

Von den Vorrichtungen, um Wasser zu heben, und zwar den rein mechanischen.

§. 708. Eine große Menge von Maschinen bezwecken die Hebung des Wassers. Wir reden zuerst von den rein mechanischen Mitteln, deren man sich bedient, um Wasser auszuschöpfen oder in die Höhe zu heben. Dahin gehören namentlich die Wassereimer und Wasserschaufeln, die Schaufel-, Scheiben- und Kastenwerke, die Wasserschnecken und die Schöpfräder. *)

a) Vom Heben des Wassers mit Eimern und Schaufeln.

Die Wassereimer sind theils Hand-, theils Zugeimer, und entweder von Holz oder von Leder gemacht.**) Handeimer wendet man häufig an, um Wasser auszuschöpfen (wenn es nicht abgeleitet werden kann) oder um es auf eine geringe Höhe zu heben. Meist fassen sie 20 — 24 Pfund Wasser.

Ein Mann mag per Minute etwa 15 Eimer 3′ hoch heben und ausleeren, wenn er 8 Stunden täglich diese Arbeit verrichtet. Der Nutzeffekt ist daher $= 15 \cdot 20 \cdot 3 = 900$ Pf. 1′ hoch per Minute.

Soll das Wasser 6′ ausgeschüttet werden, so wendet man 2 Arbeiter an, wobei einer dem andern den Eimer reicht; beide schöpfen aber dann nur 12 Eimer, — der Nutzeffekt von 1 Mann ist also nur

$$= \frac{12 \cdot 20 \cdot 6}{2} = 720 \text{ Pfund 1' hoch per Minute.***)}$$

*) Einige dieser Maschinen leisten weit mehr als andere. Bei der Wahl kommt oft aber nicht bloß der Effekt in Betracht. Manche, die weit wirksamer ist, kommt zu theuer oder nimmt zu vielen Raum ein. Manche machen sehr häufig Reparaturen nöthig ꝛc. Pumpen leisten viel, sind aber nicht für schlammiges Wasser anwendbar u. s. w.

**) Von den Vorrichtungen, Eimer auf eine bedeutende Höhe aufzuziehen, ist anderwärts die Rede gewesen. (S. Winden ꝛc.)

***) Nach Coulomb trägt ein Mann höchstens 1500 Pf. Holz in 1 Tage 36′ hoch. Der Nutzeffekt per Minute ist also = 675 Pf.

Mit Schaufeln leistet ein Arbeiter mehr. Nach Eytelwein kann er an 400 Pf. 3½′ hoch werfen und die Leistung per Minute ist also = 1400 Pfund 1′ hoch. Bedient man sich einer Schwungschaufel, die etwa 50 Pf. faßt und durch 3 Mann geführt wird (Fig. 333), so können diese per Minute etwa 30 Würfe 3′ hoch machen, und die Leistung von 1 Mann ist also = 30·50 oder 1500 Pf. 1′ hoch. Die Anwendung solcher Schaufeln erheischt aber schon mehr Raum.

b) Wasserschaukeln.

§. 709. Man versteht darunter Vorrichtungen wie Fig. 334, die keiner besondern Erklärung bedürfen.

Man hat mancherlei solcher Schaukelwerke angegeben, sie werden aber sämmtlich wenig angewendet, da man in der Regel mit einfachen Schaufeln schon mehr ausrichtet.

c) Schaufelwerke.

§. 710. Soll Wasser auf eine mäßige Höhe von 6—9′ gehoben werden, so bedient man sich zuweilen eines Schaufelwerks, wenn der Raum es gestattet und das Wasser nicht rein genug ist, um Pumpen anwenden zu können.

Eine solche besteht aus zwei rechtwinklichten schiefstehenden Röhren ab und cd (Fig. 335), durch welche eine endlose Kette gezogen wird, an der eine Reihe Schaufeln befestigt ist. Die Kette geht über 2 Drillinge oder Getriebe und wird gewöhnlich

---

oder geringer, obschon obiger auch das Gewicht des Eimers heben muß und die Arbeit unbequem ist. — Allein jener Träger muß sich selbst mit erheben und überdies immer wieder zurückgehen.

Nach Perronet hebt 1 Mann per Minute nur 420 Pf. 1′ hoch mit Eimern und Schaufeln.

durch Männer, die an Kurbeln arbeiten, in Bewegung gesezt. Taucht a in Wasser, so wird von den Schaufeln, wenn sie unten und seitwärts an den Wänden von ab einigermaßen anliegen, bei einer ziemlich raschen Bewegung, Wasser aufwärts geschoben, so daß es bei b ausfließt. Der Raum zwischen je 2 Schaufeln bildet eine Zelle, die bis zur wagerechten Linie Wasser faßt. Je weiter die Schaufeln von einander stehen und je größer der Neigungswinkel des Kanals ist, desto weniger Wasser enthält jede Zelle und also (bei sonst gleichen Dimensionen) der ganze Kanal. Je näher aber die Schaufeln stehen, desto größer wird die Reibung, weil mehr Schaufeln vorhanden. Enthält jede Zelle m Wasser und der Kasten ab z Zellen, so ist mz die Wassermasse, welche die Kraft zu heben hat; da aber diese Masse als Last längs einer schiefen Fläche gehoben wird, so wird daher um so weniger Kraft erfordert, je geringer die Höhe im Verhältniß der Länge ist. Faßten alle Zellen 300 Pf. Wasser, wäre aber die Höhe des Kastens nur $1/3$ der Länge, so wäre die Kraft nur = 100 Pfund. Sehr bedeutend ist jedoch die Reibung der Schaufeln an den Kanalwänden und der Getriebswellen an den Zapfenlagern.

Nach **Manger** hob ein Schaufelwerk, das 32′ lang war und dessen Schaufeln $9/8$′ breit, $1/4$′ hoch und $2/3$′ von einander entfernt waren, von 8 Mann betrieben, in 1 Minute 50 Kubikfuß Wasser 5′ hoch. Die reelle Arbeitszeit in 1 Stunde betrug aber nur 35 Minuten, so daß in 1 Stunde nur 50·35 oder 1750 Kubikfuß gehoben werden.

Nimmt man die Arbeitszeit zu 10 Stunden und den Kubikfuß Wasser zu 60 Par. Pf. an, so ergibt sich ein Nutzeffekt für 1 Mann und 1 Min. (auf 8 St. täglich)

$$= \frac{10}{8} \times \frac{1750}{8 \cdot 60} \times 60 \times 5 = 1350 \text{ Pf. } 1' \text{ hoch.}$$

Dieses Schaufelwerk leistete daher weniger als Wurfschaufeln. Ohne Zweifel hätte sich aber ein weit größerer Effekt erzeigt, hätte dasselbe eine viel stärkere Steigung gehabt und

wäre es so eingerichtet worden, daß die Arbeiter keine übermäßige Anstrengung hätten anwenden müssen. *)

d) Scheibenwerke.

§. 711. Das Scheiben-, Püschel- oder Paternosterwerk (Noria) Fig. 337 gleicht einem senkrechtstehenden Schaufelwerke und hat vor diesem den Vorzug, daß das Wasser auf eine viel bedeutendere Höhe dadurch gehoben werden kann und daß es weniger Raum einnimmt. Offenbar müssen aber hier die Scheiben, die das Wasser heben sollen, dicht genug an die ganze Wandung des Steigkanals anschließen, damit wenig oder kein Wasser zurückfließe, und daher aus starkem Leder gemacht seyn. Eben deßhalb ist aber auch eine bedeutende Reibung unvermeidlich und die Scheiben werden daher in möglichst großer Entfernung von einander angebracht. Die endlose Kette, an der sie befestigt sind, geht über 2 Blasbälge und wird mittelst Kurbeln, wie das Schaufelwerk, in Gang gesezt. Das gehobene Wasser fließt oben aus.

Ließen die Scheiben kein Wasser durch, so wäre 70 fh die zu hebende Wassermasse oder Last (bezeichnet f den Querschnitt und h die Höhe der Röhren in Fußen, die Dicke der Scheiben abgerechnet). Oder ist $f = \frac{1}{2}$ □′ und $h = 10'$, so ist das Gewicht der Wassersäule $= 70 \times 5$ oder 350 Pf. Sollte daher das Wasser mit 1′ Geschwindigkeit gehoben werden, so sollten 5 Arbeiter (deren Kraftmoment = 70 Pf. 1′ hoch) hinreichen. Der starken Reibung wegen wird es aber wenigstens um die Hälfte mehr Kraft oder 8 Mann erfordern.

Schließen die Scheiben nicht sehr dicht, so ist die Reibung zwar um Vieles geringer, es geht dann aber ein Theil des Wassers, das bereits gehoben worden, wieder verloren, so daß der Effekt ungefähr der gleiche bleibt. **)

---

*) Starke Schaufelwerke (mit eisernen Schaufeln) wendet man auch an, um Schlamm ꝛc. in die Höhe zu ziehen, daher als Hafenreiniger u. s. w.

**) Um die Reibung zu mindern, mag der untere Theil des Kanals etwas enger seyn, so daß hier nur die Scheiben dicht anliegen.

Nach Eytelwein förderten mit einem Scheibenwerke 4 Mann per Minute $13\frac{1}{2}$ Kubikfuß Wasser 12′ hoch. Der Nutzeffekt (rechnen wir 1 Kubikfuß = 62 Pf.) wäre demnach für einen Mann $= 13\frac{1}{2} \times 62 \times 3 = 2511$ Pf. 1′ hoch, und also sehr bedeutend.

Nach Perronet hoben 4 Mann per Stunde 4802 Kubikfuß Wasser 15′ hoch; die Leistung eines Mannes per Minute wäre also 140×15 oder 2100 Pf. 1′ hoch.

e) Kasten- oder Eimerwerke.

§. 712. Kastenwerke oder Kastenkünste nennt man Maschinen, bei denen das Wasser in Kästen oder Kübeln in die Höhe gefördert wird, die an endlosen Ketten befestigt sind. (Fig. 336.) Die Kette läuft über 6 oder besser 8seitige Wellen a, b. Taucht die untere b unter Wasser, so füllt sich jeder Kasten mit Wasser, wie er unter b durchgeht, und leert dasselbe wieder aus und in den Trog c, wenn er über die obere a passirt. Die Wellen werden durch Kurbeln oder ein Spillenrad A in Bewegung gesezt, oder auch wohl durch ein Wasserrad, wenn B ein fließendes Wasser ist.

Offenbar ist die Reibung bei dieser Maschine weit geringer als bei den vorigen. Geht daher wenig oder kein Wasser durch Verschütten verloren, so ergibt sich ein sehr bedeutender Effekt.*)

4 Mann, die mit einem 8füßigen Spillenrad eine Kastenkunst treiben, sollen in 8 Stunden an 4000 Kubikfuß Wasser 30′ hoch heben. Die Leistung wäre also per Minute

$$= \frac{4000 \cdot 60 \cdot 30}{4 \cdot 8 \cdot 60} = 3750 \text{ Pf. } 1' \text{ hoch.}$$

f) Wasserwurfräder.

§. 713. Steht ein wie ein Strauberrad gebautes Rad n im Wasser (Fig. 338) und vor einem bogenförmigen Kanale oder Kropfe a, so werden die Schaufeln, so wie das Rad in der Richtung des Pfeils umgeht, Wasser in das Gerinne b werfen.

---

*) Dergleichen Kastenwerke werden auch in Mühlen gebraucht, um Früchte auf obere Böden zu fördern.

Ein solches Rad heißt ein Wasserwurfrad und kann besonders dienen, um versumpfte Grundstücke zu entwässern. Hie und da werden solche Räder durch den Wind getrieben, indem man Windflügel durch ein Vorgelege mit dem Rade verbindet.

g) Das Schneckenrad.

§. 714. Unter einem Schneckenrad versteht man ein Rad, (Fig. 339), von dessen Axe h 4 oder mehrere hohle und bogenförmige Arme a, a gegen den Rand auslaufen. Wird ein solches Rad, das in Wasser taucht, in der Richtung des Pfeils umgedreht, so schöpfen jene Arme Wasser und gießen es in der Höhe der Welle aus. Steht das Rad in einem fließenden Wasser, so kann es durch dieses selbst umgetrieben werden, wenn man den Rand zugleich mit Schaufeln besezt. Die Leistung eines Schneckenrades ist ziemlich bedeutend, wenn die Arme die passendste Krümmung haben; es erfordert aber einen großen Durchmesser, da das Wasser kaum bis auf die Höhe der Welle gehoben werden kann.

h) Schöpfräder.

Noch häufiger wendet man, zumal wenn Wasser aus einem Flusse geschöpft werden soll, ein Schöpfrad an. Es ist ein solches ein Schaufelrad, an dessen Kranz 12 oder mehr Kübel oder Kästen befestigt sind, die wechselsweise Wasser schöpfen und darauf wieder ausgießen. (Fig. 340.)

Sind die Kasten unbeweglich, so ist klar, daß der Winkel, bei dem jeder Kasten Wasser auszugießen anfängt, demjenigen gleich seyn muß, bei dem er welches zu schöpfen aufhört; und daß also der Fangkasten höchstens soweit über die Axe des Rades stehen darf, als diese über dem Wasserspiegel steht.

Ist m die Menge Wasser, die ein Kasten schöpft, und n die Anzahl Kästen, so liefert das Rad 70 m n Pf. Wasser bei einem Umgange. Ist die Geschwindigkeit des Flusses = 5′ per Sek. und die des Rades $2\frac{1}{2}$′, und ist ferner der Umgang des Rades = 30′; so macht es 1 Umgang in 12 Sekunden und leeret also,

wenn 12 Kasten vorhanden sind, jede Sekunde eine Last aus. Schöpft jeder Kasten 1 Kubikfuß oder 70 Pf. Wasser und steht der Fangkasten $6\frac{1}{2}'$ über dem Wasserspiegel, so hebt hiemit das Rad per Minute 60 × 70 Pf. $6\frac{1}{2}'$ hoch oder der Effekt per Minute ist = 27300 Pf. 1′ hoch. — Es ist hiemit zu berechnen, wie groß die Schaufeln des Wasserrades seyn müssen, damit sie (die Reibung ꝛc. inbegriffen) bei obiger Geschwindigkeit genug Effekt leisten.

Bei diesen Rädern ist vornehmlich darauf zu sehen, daß die Gefäße kein Wasser verschütten. Man hängt daher oft die Eimer an (wie in der Figur), so daß sie immer vertikal bleiben und erst in der Höhe, wo sie das Wasser ausgießen sollen, eine geneigte Stellung erhalten.

Schöpfräder können übrigens auch durch Treträder oder (wie in Holland) durch Windflügel (oder Dampfkraft) umgedreht werden.

i) Die Seilmaschine.

§. 715. Wird ein endloses Seil senkrecht über zwei Rollen gespannt und schnell fortgezogen, so hängt sich, taucht die untere Rolle in Wasser, eine bedeutende Menge Wasser (durch Adhäsion) an das Seil an, und ein Theil desselben kann auf diese Weise auf eine ziemliche Höhe gehoben werden. Eine solche Vorrichtung, die man (Vera'sche) Seilmaschine nennt (§. 40), ist indessen mehr sinnreich, als nützlich; denn ein nicht geringer Theil des Wassers fließt fortwährend wieder zurück und wird also vergeblich mehr oder weniger gehoben. Ueberdies nützen sich die Seile schnell ab.

k) Die Wasserschnecke.

716. Die Wasserschnecke, deren Erfindung dem Archimedes zugeschrieben wird, ist in vielen Fällen eine sehr bequeme und einfache Maschine, um zumal stehende Wasser auf eine nur geringe Höhe zu heben, und sie hat vor Pumpen den Vorzug, daß sie auch bei unreinem oder schlammigem Wasser dienen kann. Sie wird daher besonders zum Ausschöpfen bei Grundbauten, zur Bewässerung ꝛc. angewendet.

Man unterscheidet drei Arten von Wasserschnecken. Die erste (die Tonnenmühle) besteht aus einer völlig cylindrischen starken Spindel ab (Fig. 342), um die eichene Bretter so angesezt sind, daß sie einen einfachen (oder doppelten) breiten Schraubengang bilden, und welche von aussen mit Dauben so verkleidet werden, daß die Schraube zu einem hohlen unten und oben offenen, sonst aber völlig wasserdichten Kanale wird.

Die zweite Art, die Wasserschraube oder holländische Wasserschnecke, ist wie die vorige gestaltet; sie hat aber keine Verkleidung oder Mantel, sondern liegt zur Hälfte in einem hohlen Troge, der, wenn die Schnecke gedreht wird, unbeweglich bleibt.

Eine dritte Art, die einfache Wasserschnecke, besteht bloß aus einer um eine Spindel herumgewundenen Röhre von Blech oder Glas (Fig. 341).

Wird eine solche Schraube schief in ein Wasser gestellt und mit einer gewissen Geschwindigkeit umgedreht, so wird anhaltend von der untern Oeffnung geschöpft und von der obern ausgegossen. Im Großen macht man nur von den beiden ersten Arten von Wasserschrauben Gebrauch, und sezt sie entweder durch Menschen oder durch Thiere in Bewegung. Zuweilen werden sie aber auch durch den Wind betrieben.

§. 717. Die Theorie dieser Maschine ist sehr schwierig. Klar ist, daß das Wasser nur dann steigen kann, wenn der untere Theil jeder Windung eine Art Wassersack bildet, der unter der Horizontallinie xy liegt (Fig. 341). Die Schnecke muß daher schief stehen, und zwar um so schiefer, je steiler die Gänge sind. Der Winkel n muß immer merklich kleiner seyn, als $90^0 - p$, ist n der Neigungswinkel der Schraube mit dem Horizonte und p der Winkel der Schraubengänge mit der Basis. Ist also $p = 45^0$, so dürfte n nur etwa 30^0 betragen.

Bei den Tonnenmühlen, bei denen der Mantel dicht schließt und mit umgedreht wird, kommt in Betracht, daß, taucht die Einflußöffnung ganz unter das Wasser, dieselbe zwar

anhaltend Wasser schöpfte, daß aber der einseitige Luftdruck gegen die obere Oeffnung gar sehr den Widerstand vermehrt. Sollen solche Schrauben daher möglich viel Wasser heben, so darf die untere Oeffnung nur bis auf eine gewisse Linie eintauchen (damit stets auch Luft eindringe); und ist der Wasserstand veränderlich, so muß also die Schraube sich höher und niedriger stellen lassen (wie Fig. 342). Bei den holländischen Schnecken fällt dieser Uebelstand weg, und sie sind also bei veränderlichem Wasserstand vorzuziehen; es geht jedoch etwas Wasser verloren, weil die Schraube nie völlig dicht an den Trog anschließen kann.

Nach Hachette fördern 6 Arbeiter mit einer Tonnenmühle per Stunde etwa 2700 Kubikfuß Wasser 3′ hoch. Der Nutzeffekt eines Arbeiters wäre hiemit per Minute = 1530 Pf. 1′ hoch und also fast doppelt so groß, als die Leistung mit Handeimern. Es ist aber anzunehmen, daß sich derselbe bei einer gehörigen Stellung der Mühle noch bedeutender erzeigt hätte.

Nach Perronet heben 2 Mann mit einer 8′ langen archimedischen Schnecke per Minute 9 Kubikfuß $3\frac{1}{2}$′ hoch. Die Leistung eines Mannes per Minute wäre also nur 1100 Pf. 1′ hoch.

l) Die Spiralpumpe.

§. 718. Eine sehr sinnreiche Wasserhebungsmaschine ist die von dem Züricher Wirz (1746) erfundene Spiralpumpe oder Wasserspirale Fig. 344.

Sie besteht aus einer um eine wagerecht liegende Axe xy befestigten spiralförmigen Röhre abcd, deren Windungen stufenweise enger oder kleiner werden, und deren lezte in eine senkrecht aufsteigende Röhre pq wasserdicht einmündet. Wird die Axe mittelst einer Kurbel oder eines Wasserrades A umgedreht und mit ihr die Spiralröhre, so schöpft bei jedem Umgange die Oeffnung o eine neue Menge Wassers und Luft, und der bereits in den Windungen enthaltene Wind wird successiv in eine folgende hinübergetrieben. Da nun aber die Windungen immer enger oder kürzer werden und das Wasser sich nicht zusammendrücken läßt, so werden die in den Windungen eingeschlossenen

Luftmassen in einen je mehr und mehr engern Raum zusammengepreßt werden müssen. Denn gesezt z. B., die erste a fasse 4 Kubikfuß Luft und schöpfe 2 Kubikfuß Wasser und ebensoviel Luft, die lezte d aber fasse nur 3 Kubikfuß, so werden die bei jedem Umgang in d hinübergetriebenen 2 Kubikfuß Luft in einen Raum von 1 Kubikfuß zusammengedrängt werden (da das Wasser nicht das Volum ändert). Luft von doppelter Dichtigkeit hält jedoch einer Wassersäule von 30—32′ das Gleichgewicht, und so wird die Luft in d das Wasser in pq auf eine gleiche Höhe heben oder heraufdrücken können; überhaupt wird es hiemit möglich, mittelst dieser Vorrichtung anhaltend Wasser auf eine fast beliebige Höhe zu erheben, wenn man der Röhre die gehörigen Verhältnisse gibt.

§. 719. Bis jezt macht man von der Spiralpumpe noch selten Gebrauch, obschon sie, da die Reibung sehr gering ist, viele Vortheile verspricht. Verlangt man eine bedeutende Steighöhe, so muß der Durchmesser der Spirale ziemlich groß, der Röhrengang aus sehr starkem Blech verfertigt seyn und die Einpassung sehr vollkommen schließen.

Nach Gerstner möchte eine Spirale (von Eisenblech), wenn sie 1/5 Kubikfuß per Sekunde 90′ hoch heben soll, etwa 20 Ztr. schwer werden, und an 97 Ztr., wenn sie 2 Kubikfuß Wasser eben so hoch fördern soll.

Die Röhre muß sehr stark seyn, denn soll sie das Wasser z. B. 60′ hoch heben, so muß die lezte Windung einem Druck von 60′ Kubikfuß Wasser per □′ Fläche widerstehen. Der Durchmesser der Schlange muß ferner sehr weit seyn. Denn soll in der lezten Windung die Luft 60′ z. B. tragen, so muß die Summe der Wasserstanddifferenzen in sämmtlichen Windungen ebenfalls 60′ betragen. Das Horn o muß endlich so weit seyn, daß es bei jeder Eintauchung so viel Wasser schöpft, als die Hälfte der ersten Windung faßt.

12.

Von den Saug- und Druckpumpen und den ersteren insbesondere.

§. 719. Alle Pumpen lassen sich in 2 Hauptgattungen theilen: Saug- und Druckpumpen.

Jede Saugpumpe besteht in der Regel aus 2 Röhren, dem Kolbenrohre (Stiefel) A (Fig. 345) und dem meist etwas engern Saugrohre B. Dieses steht im Unterwasser (Sumpfe) C, das gehoben werden und durch D ausfließen soll. In A spielt der Kolben a; die Kolbenstange wird mit Hülfe eines ungleicharmigen Hebels p q bewegt. Endlich sind 2 Ventile vorhanden, das eine, das Saugventil b, (gewöhnlich) am obern Ende der Saugröhre, das andere, das Kolbenventil c, in dem Kolben selbst, der durchbrochen ist.

Das Spiel dieser Pumpe ist im Allgemeinen folgendes: Bei jedem Kolbenhube drückt die äussere Luft das Ventil c zu; in den unter dem Kolben entstehenden leeren Raum tritt daher aus B erst Luft und später Wasser, und in das Saugrohr B steigt ebenfalls Wasser, weil die Atmosphäre auf das Unterwasser drückt. Bei jedem Niedergange des Kolbens schließt sich hingegen das Ventil b; das zwischen a und b im Stiefel befindliche Wasser muß daher durch das Kolbenventil über den Kolben steigen; aus dem gleichen Grunde aber kann das in B befindliche nicht wieder zurückfließen. Bei jedem Hube endlich muß der Kolben zugleich das über denselben getretene Wasser heben, und dieses muß daher durch D ausfließen.

§. 720. Jede Druckpumpe (Fig. 346) besteht aus zwei Röhren, einem Kolbenrohre A und einem Steigrohre D, das zugleich als Ausflußröhre dient. Der Kolben a ist aber nicht durchbrochen. Von den beiden Ventilen ist das eine n am Boden des Kolbenrohrs, das andere o am Eingange des Steigrohrs

angebracht. Die Kolbenstange wird gewöhnlich durch einen ungleicharmigen Hebel bewegt.

Diese Pumpe wirkt also: Bei jedem Hube schließt sich o und es tritt daher aus C Wasser durch n unter den Kolben; bei jedem Niedergange aber wird dieses durch o in die Steigröhre D getrieben, indem n sich schließt.

Von den Saugpumpen insbesondere.

§. 721. 1) Das Wasser steigt in der Saugröhre, wenn der Kolben aufwärts geht, weil dann der Luftdruck auf das in der Pumpe enthaltene Wasser ganz oder zum Theil aufgehoben wird, während er unverändert auf das Unterwasser wirkt. Eben daraus folgt aber, daß sich das Wasser unter dem Kolben nie auf mehr als etwa 30′ erheben läßt, weil der ganze Luftdruck keine höhere Wassersäule zu tragen vermag.

Der Kolben darf also höchstens 30′ über dem Unterwasser stehen; und weil die Luft bei niedrigem Barometerstand noch weniger Kraft hat und überdies die Hebung der Klappen noch etwas Kraft fordert, so wird es rathsam, die Kolben nicht mehr als 24′ hoch zu stellen.

Damit keine Unreinigkeiten in den Stiefel und zwischen die Ventile dringen, wird unten an dem Saugrohre ein Seiher angebracht.

2) Nichts desto weniger kann eine solche Pumpe das Wasser ungleich höher heben. So wie nämlich das Wasser über den Kolben gelangt, wird es beim Aufwärtssteigen desselben mechanisch gehoben; und verlängert man also das Kolbenrohr auf 40, 60 und mehr Fuß, so muß das Wasser, wenn gleich der Kolben nur 20′ hoch steht, doch 60, 80 oder mehr Fuß hoch steigen, ehe es ausfließt.

Aehnliche Pumpen heißen **Saughebpumpen** oder hohe Sätze. Je höher ein Satz ist, desto stärker muß natürlich das Rohr, zumal unten, seyn, weil der Druck des Wassers um so größer ist. (98)

§. 722.' 3) Nur das Heben des Kolbens erfordert eine bedeutende Kraft, das Zurücktreiben desselben so viel als keine. Wie groß die erstere Kraft ist, wenn die Pumpe im Gange ist, erhellt aus Folgendem:

Wenn der Kolben steigt (Fig. 345) und das Ventil c also offen ist, erleidet die untere Seite des Kolbens einen Druck, der dem Druck einer Atmosphäre, weniger dem Druck einer yz hohen Wassersäule gleich ist. Ebenso erleidet die obere Seite einen Druck, der dem einer Atmosphäre nebst dem einer xy' hohen Wassersäule gleich ist.

Sieht man also von der Dicke des Kolbens oder dem Unterschied von y und y' weg, so ist der Druck auf die obere Seite gerade um das Gewicht der ganzen Wassersäule xz größer, als der auf die untere; und diesen Mehrdruck muß die Kraft, welche den Kolben aufwärts zieht, überwinden. *) Sie muß also, abgesehen von dem Widerstand der Reibung, desto größer seyn, je größer die Fläche des Kolbens und je höher das Ausgußrohr über dem Grundwasser steht.

Beispiel. Gesezt, die Fläche des Kolbens sey = ½ □', er stehe 16' über dem Grundwasser und die Ausflußröhre 10' über dem Kolben, so muß der Luftdruck eine Wassersäule von 16 × 70 × ½ = 560 Pf. tragen; er übt also 560 Pf. weniger Druck auf die untere, als auf die obere Fläche des Kolbens aus. Ausserdem muß der Kolben aber noch direkte eine Wassersäule von 10 × 70 × ½ = 350 Pf. heben. Die ganze erforderliche Kraft beträgt also 560 + 350 oder 910 Pf. (26 × 70 × ½.)

Das Zurücktreiben des Kolbens erfordert so viel als keine Kraft. Es kommt nämlich weder der Druck der Luft, noch

*) Nennt man a den Druck der Atmosphäre, f die Fläche des Kolbens, h die Höhe der Wassersäule unter und h' jene über dem Kolben, so ist der Druck auf die obere Kolbenfläche = a + fh' und der auf die untere = a − fh, und da leztere entgegenwirkt, so ist der Widerstand, den die Kraft beim Aufziehen des Kolbens zu überwinden hat = (a + fh') − (a − fh) oder a − a + f(h' + h) oder f × H, wenn H = h' + h.

der des Wassers in's Spiel, sondern nur das Gewicht des Kolbens und der Kolbenstange, und dieses würde ihn allein zurücktreiben, wenn nicht eine beträchtliche Reibung stattfände.

§. 723. 4) Die Menge Wassers, die mit jedem Pumpenzuge gehoben wird, ist (wenn kein Wasser durch die Ventile zurückflösse) dem Produkte der Kolbenfläche mit der Höhe des Hubs gleich. Ist diese = 2′ und jene = ½ □′, so hebt jeder Zug 1 Kubikfuß Wasser. Und steigt der Kolben mit 1′ Geschwindigkeit und wirkt die Kraft auf einen 5mal längeren Hebel, so muß dieser in obigem Falle wenigstens $\frac{910}{5} = 182$ Pf. seyn und mit 5′ Geschwindigkeit wirken. *)

5) Da die erforderliche Kraft lediglich von der Größe der Kolbenfläche und der Höhe der Wassersäule abhängt, so ist in dieser Beziehung die Weite des Saugrohrs gleichgültig. Augenscheinlich muß auch, wenn dieses schon enger ist, doch eine gleiche Menge Wassers jedesmal und zwar auf gleiche Höhe gehoben werden. Enge Saugrohre müssen jedoch eher nachtheilig seyn, weil das Wasser zu geschwind hindurch laufen muß und die Reibung an den Wandungen verhältnißmäßig größer wird. In den englischen Pumpen ist daher das Saugrohr gewöhnlich beinahe so weit, als das Kolbenrohr.

6) In den meisten Fällen ergibt sich daraus ein Uebelstand, daß alle Kraft nur zum Aufwärtsziehen verwendet werden muß. Um diesen zu beseitigen, sucht man entweder 2 Pumpen, die alternirend ziehen, zugleich zu treiben, oder ein Hülfs- oder Gegengewicht anzubringen.

Bedarf es z. B. am Ende p des Hebels zum Hube einer Kraft von 75 Pf. und zum Niederdrücken eine von 5 Pf., so bringe man an diesem Ende ein Gewicht von 35 Pf. an. Man

---

*) Linienschiffe sind gewöhnlich mit 6 Pumpen von 6″ Durchmesser versehen, und jede wird im Nothfall von 10 oder 12 Mann betrieben. Jede mag also per Minute an 15 Kubikfuß Wasser 20′ hoch pumpen.

wird dann beim Hube (da das Gewicht mithilft) nur 75 — 35 oder 40 Pf. Kraft brauchen, und ebenso beim Zurücktreiben 40 = 5 + 35 Pf. Kraft.

§. 724. 7) Soll Wasser über 100, ja mehrere 100′ hoch gehoben werden, so ist es zweckmäßig, mehrere Pumpensätze anzuwenden, indem der Wasserdruck in einem einzigen zu groß würde. Solche übereinanderstehende Pumpwerke, welche häufig in Bergwerken vorkommen, heißen Kunstsätze.

Um das Wasser z. B. 300′ hoch zu heben, wendet man 3 hohe Sätze an, wovon jeder ein nur 10 — 12′ hohes Saugrohr hat. Gewöhnlich ist dieses von Fichtenholz. Auf demselben steht das metallene 8′ lange Kolbenrohr für einen 5 — 6′ hohen Kolbenhub; und darauf ruhen endlich so viele hölzerne Aufsatzröhren, bis die ganze Höhe 100′ beträgt. Die unterste Pumpe ergießt das Wasser in einen Behälter, in dem das Saugrohr der zweiten steht; und diese ergießt es wieder in einen Behälter, aus dem die dritte Pumpe schöpft. Alle 3 Pumpstangen werden durch eine gemeinsame Zugstange in Bewegung gesezt, und auch hier werden gewöhnlich 2 Pumpen nebeneinander gestellt, die wechselsweise ziehen. *)

8) Nicht nur ist bei vielen Saugpumpen das Heberohr weit länger als das Saugrohr, sondern bei manchen fehlt dieses sogar ganz.

Eine Doppelpumpe ähnlicher Art deutet Fig. 343 an. Beide Saugventile a stehen im Wasser, das ausgepumpt werden soll. Das Wasser, das durch den Kolben gehoben wird, fließt in einen gemeinschaftlichen Abflußkanal, und die Arbeiter, die an beiden Enden der Stange p q hin- und herziehen, unterstützen sich gegenseitig und können beständig die gleiche Kraft anwenden.

§. 725. Zuweilen wird das Saugventil nicht am obern Ende, sondern im Innern des Saugrohrs angebracht. Ebenso wird zuweilen das untere Ende noch mit einem zweiten Ventil

---

*) Je länger die Aufsatzröhren sind, desto stärker müssen sie natürlich seyn. Dennoch zieht man möglichst hohe einer grösseren Menge vor, da der Gesammtwiderstand bei vielen noch grösser ist.

versehen. Die Wirkung bleibt wesentlich dieselbe. Ein zweites Ventil kann das Zurücksinken des Wassers (wenn die Pumpe lange ruht) hindern; ein solches erschwert aber in etwas die Arbeit, weil das Wasser nun 2 Ventile statt 1 heben muß.

10) Bei jeder guten Pumpe muß, wie sich von selbst versteht, der Kolben bei möglichst geringer Reibung vollkommen dicht schließen, und eben so müssen die Ventile sich leicht öffnen, möglichst weit seyn und vollkommen schließen. Noch immer sind einfache oder zweiklappige Klappenventile am gebräuchlichsten.

Ein solches Ventil besteht aus einer Scheibe aus zuvor in heißem Thran getränktem Leder, die an einem Ende an das Rohr angenagelt und zwischen 2 metallenen Scheiben von ungleicher Größe festgeschraubt ist. Die Metallplatten geben dem Ventil die gehörige Stärke und Schwere, und der lederne Rand bewirkt dann bloß das dichte Anschließen an den der Oeffnung. Da übrigens die Ventile öfters in Unordnung gerathen oder sich abnützen, so muß man leicht zu denselben kommen können.

Noch einige praktische Bemerkungen.

§. 726. Ist f die Fläche des Kolbens und l die Höhe des Hubes, so muß theoretisch jeder Hub ein Quantum Wasser = fl liefern. Dies sezt aber voraus, daß durchaus kein Wasser beim Niedergang, wenn das Ventil sich schließt, zurückfalle, und auch bei den besten Ventilen wird dies nicht ganz verhindert. Die Wassermenge ist daher meist um $1/6$ oder $1/8$ geringer.

Gesezt also, der Durchmesser des Stiefels sey = 3″, oder $f = {}^{11}/_{14}\, d^2 = 7\ \square''$, die Höhe des Hubs = 11″ und in 1 Minute hätten 36 Hube statt, so wäre die Wassermenge per Minute $= 7 \times 11 \times 36 \times 5/6 = 2310$ Kubikzoll oder circa $1\,1/3$ Kubikfuß.

Die **Geschwindigkeit**, mit der der Kolben bewegt wird, sollte hinsichtlich des verhältnißmäßigen Effekts gleichgültig seyn; denn eine doppelte Geschwindigkeit erheischt theoretisch 2mal so viel Kraft, liefert aber auch 2mal mehr Wasser. Die Erfahrung lehrt jedoch, daß eine zu große Geschwindigkeit nachtheilig wird, weil das Wasser dann nicht so leicht nachfolgen kann. Bei 2′

Geschwindigkeit wird daher eine Pumpe wohl 2mal mehr Wasser liefern, als bei 1′; würde man sie aber mit 5′ Geschwindigkeit bewegen, so könnte sie leicht kaum 4mal mehr Wasser geben und wenigstens 5mal mehr Kraft erfordern. *)

Welche Ventile man anwendet, so wird der Kolben beim Niedergang nie vollkommen dicht an das Saugventil anschließen. Fängt man also zu pumpen an, so ergibt sich unter dem Kolben kein ganz luftleerer Raum, und die Atmosphäre kann auch deßhalb das Wasser nicht auf 30′ heben. Dieser Uebelstand läßt sich zwar wegräumen, indem man im Anfang von oben Wasser in den Stiefel schüttet, so daß die Luft aus jenem schädlichen Raum verdrängt wird. Gewöhnlich zieht man aber vor, eine viel kürzere Saugröhre (von 10 — 15′ nur) anzuwenden.

Große Hubshöhen (von 5 — 7′) sind vortheilhafter als kleinere, weil die Bewegung weniger oft abwechselt.

§. 727. Aus verschiedenen Gründen endlich muß die Betreibung einer Pumpe in der Wirklichkeit eine bedeutend größere Kraft erfordern, als die oben theoretisch gefundene. Der bloße Widerstand des Wassers ist nämlich allerdings beim Hube nur = 70 fh, wenn f die Kolbenfläche in □′ und h die Höhe der Wassersäule bis zum Ausfluß bezeichnet.

Allein 1) ist noch die Reibung des Kolbens an dem Stiefel zu überwinden, die je nach der Beschaffenheit der Liederung und der Glätte des Stiefels sehr verschieden, immer aber ziemlich beträchtlich ist. Auch wird sie um so größer, je höher das Steigrohr ist, weil der Kolben dann um so dichter schließen muß.

2) Erleidet das Wasser, so oft es durch Röhren sich bewegen soll, mehr oder weniger Widerstand; und dieser ist um so größer, je länger und je enger die Röhren sind.

---

*) Bei einer gewissen Geschwindigkeit kann sogar das Wasser gar nicht nachfolgen, so daß die Pumpe dann gar kein Wasser lieferte. Die gewöhnlichste Geschwindigkeit ist die von 1 — 1½ per Sekunde. Je kürzer übrigens das Saugrohr ist, desto schneller darf der Kolben arbeiten.

3) Ebenso erfordert es einige Kraft, um die Ventile zu heben und das Wasser durch die Ventilöffnungen hindurchzudrängen, und um so mehr also, je enger diese Oeffnungen sind.

4) Kraft geht ferner verloren, weil die Bewegung eine abwechselnde ist und das Wasser bei jedem Zuge aus dem Zustande der Ruhe auf's Neue in Bewegung gesezt werden muß.

5) Aus denselben Ursachen ist dann auch der Widerstand beim Niedergehen nicht null.

6) Endlich fällt immer durch die Ventile etwas bereits gehobenes Wasser wieder zurück, zu dessen vergeblicher Hebung Kraft verwendet wird, so daß der Nutzeffekt bedeutend vermindert werden muß.

Nutzeffekt einer Ziehpumpe.

§. 728. Nach Gerstner mag ein Mann an einer gewöhnlichen Ziehpumpe (mit metallenem Kolbenrohre) von etwa 3″ Durchmesser ($\frac{1}{20}$ □′ Querschnitt) 500 Kubikfuß Wasser 30′ hoch heben.

Setzen wir 1 Kubikfuß Wasser = 64 Pf., so ist der tägliche Effekt = $500 \cdot 64 \cdot 30 = 960000$ Pf. 1′ hoch; oder per Sekunde = 30 Pf. 1′. Dieser Effekt ist hiemit kaum halb so groß, als das mechanische Moment eines Mannes, der eine Last in die Höhe zieht, da dieses wenigstens 60 Pf. beträgt. Bei großen Pumpwerken wird der Effekt größer. Nach Eytelwein heben mit einer Pumpe von 6″ Durchmesser 44 Mann, mit einer 8zölligen 41 Mann und mit einer 10zölligen 39 Mann 100 Kubikfuß 15′ hoch per Minute, was einen Effekt von $36\frac{1}{3}$, 39 und 41 Pf. 1′ hoch per Sekunde ergibt. Immerhin ist dieser ziemlich gering, und kleiner als bei manchen andern Wasserhebungsmaschinen, so daß Pumpen also bloß anderer Eigenschaften wegen sehr oft den Vorzug verdienen.

Soll obige Pumpe 500 Kubikfuß in 8 Stunden liefern oder per Sekunde $\frac{500 \cdot 64}{8 \cdot 3600} = \frac{10}{9}$ Pf. und beträgt die Kolbenfläche

$^{1}/_{20}$ □′, so muß die Hubshöhe per Sekunde $= {}^{1}/_{3}{}'$ oder 4″ seyn, oder weil $^{1}/_{10}$ Wasser verloren gehen mag, $4^{1}/_{2}{}''$.

Die ganze Wassersäule, die gezogen wird, beträgt aber $30' \cdot {}^{1}/_{20}$ □′ $= 1^{1}/_{2}$ Kubikfuß oder 96′ Pf., und die Kraft, die zum Heben erfordert werden mag, wenigstens $^{1}/_{3}$ mehr oder $96 + 32$ oder 128 Pf. mit einer Geschwindigkeit von $4^{1}/_{2}{}''$ per Sekunde. Wirkt daher ein Arbeiter mit einer Kraft von 24 Pf. nur, so muß der Hebelarm, an dem er arbeitet, $^{128}/_{24}$ oder $5^{1}/_{3}$mal länger seyn, als der der Pumpstange, und seine Geschwindigkeit $= 5^{1}/_{3} \times 4^{1}/_{2}{}''$ oder 24″, und sein Bewegungsmoment wäre daher $2' \cdot 24$ Pf. $= 48$.

Der Kolben muß jedoch jedesmal wieder zurückbewegt werden und so auch der Hebelarm des Arbeiters. Dieser muß also den doppelten Weg oder 4′ per Sekunde machen, und der Rückweg erfordert, wenn auch ungleich weniger, doch einige Kraft. Zudem kommt, daß die Richtung der Bewegung sich beständig ändert. Das Moment dürfte also wohl auf 60 steigen, so daß, wenn der Widerstand durch Gegengewichte ausgeglichen und der Triebarm verkürzt würde, der Arbeiter continuirlich eine Kraft von 20 Pf. mit einer Geschwindigkeit von 3′ anzuwenden hätte, und wir ersehen hieraus, wie Kraft verloren gehen muß und wie der Nutzeffekt auf die Hälfte und darüber reduzirt werden mag.

13.

Von den Druckpumpen.

§. 729. Bei der Druckpumpe wird das Wasser hauptsächlich durch den Druck des Kolbens in die Höhe gebracht. Auch hier wird es jedoch vorerst in das Kolbenrohr durch Ansaugung gehoben. Oft versieht man sogar dieses noch mit einer wirklichen Saugröhre, und in diesem Falle wird das Wasser

sowohl beim Aufwärtsziehen, als beim Herabgehen des Kolbens gehoben, und eine solche Pumpe heißt dann eine Saugdruckpumpe.

Bei jedem Kolbenspiele ist (wenn die Ventile kein Wasser verlieren ließen) die Wassermenge m, die in das Kolbenrohr und darauf in das Steigrohr gebracht wird, $= fh$, wenn f die Fläche des Kolbens und h die Hubshöhe bezeichnet.

Ist $f = \frac{1}{3}\ \square'$ und $h = \frac{1}{2}'$, so ist $m = \frac{1}{6}$ Kubikfuß; und haben per Minute 40 Kolbenhübe statt, so lieferte die Pumpe $40 \cdot \frac{1}{6} = 6\frac{2}{3}$ Kubikfuß Wasser per Minute oder circa $5\frac{1}{2}$ Kubikfuß, wenn $\frac{1}{6}$ etwa durch die Ventile verloren geht.

§. 730. Steht das Kolbenrohr (wie Fig. 346) im Unterwasser, so erfordert das Niederdrücken des Kolbens (von der Reibung abgesehen) eine Kraft $k = 70\,f\,(H + \frac{1}{2}\,h)$, wenn H die Höhe des Steigrohrs über dem Unterwasser und h die Höhe des Kolbenrohrs bezeichnet. Es kommt derselben jedoch das Gewicht des Kolbens (nebst Kolbenstange) g zu Hülfe, und k ist also

$$= 70\,f\,(H + \tfrac{1}{2}\,h) - g.$$

Die zum Heraufziehen des Kolbens erforderliche Kraft k ist hingegen $= g - (70f \cdot \frac{1}{2}h)$, denn es ist hier nur das Gewicht des Kolbens zu überwinden, und der Druck der kurzen Unterwassersäule kommt der Kraft zu Hülfe.

Ist $H = 30'$; $f = \frac{1}{3}\ \square'$; $h = 1'$ und $g = 90$ Pf., so erhalten wir $k = 70 \cdot \frac{1}{3} \cdot (30 + \frac{1}{2}) - 90 = 621\frac{2}{3}$, und $k' = 90 - (\frac{70}{3} \cdot \frac{1}{2}) = 78\frac{1}{3}$ (und $k + k' = 700$).

Die Kraft bei beiden Zügen ist also sehr ungleich.

Man wird durch Vermehrung des Gewichts g aber beide Kräfte ausgleichen können. Es wird dies geschehen, wenn $g = 35f\,(H + h)$ oder in obigem Falle $= 35 \cdot \frac{1}{3} \cdot 31 = 361\frac{2}{3}$. Denn nun wird

$$\left.\begin{array}{l} k = 711\frac{2}{3} - 361\frac{2}{3} = 350 \\ \text{und } k' = 361\frac{2}{3} - 11\frac{2}{3} = 350 \end{array}\right\} 700.$$

In der Ausübung wird nun die Kraft freilich noch wegen der Reibung des Kolbens um $\frac{1}{5}$ oder $\frac{1}{4}$ größer anzunehmen seyn. Ebenso wird g vermehrt oder vermindert werden müssen, wenn sich der Wasserstand (und demnach H und h) ändert.

§. 731. Bei der Saugdruckpumpe (Fig. 547) sind beide Kräfte schon an sich gleicher.

Nennen wir H die Länge des Steigrohres bis zum mittleren Rande des Kolbens und H′ die Höhe des Saugrohres bis eben dahin, so ist die erforderliche Kraft beim Herabdrücken des Kolbens (wo g mithilft) oder

$$k = 70\,fH - g,$$

und die beim Aufwärtsziehen erforderliche oder

$$k' = 70\,fH' + g.$$

und beide Kräfte sind gleich groß, wenn $g = 35\,f\,(H - H')$.

Ist also $f = \frac{1}{5}\,\square'$; $H = 40'$ und $H' = 16'$, so wäre $g = 168$,

$$\left.\begin{array}{l}\text{und } k = (14 \cdot 40) - 168 = 392 \\ \text{und } k' = (14 \cdot 16) + 168 = 392\end{array}\right\} 784.$$

Diese Berechnung setzt voraus, daß der Kolben in 1 Sek. 1′ hin- und hergebt; und in der That wird auch in diesem Falle ⅕ Kubikfuß Wasser (14 Pf.) 40 + 16 oder 56′ hoch gehoben, was ein Kraftmoment von 14 × 56 oder 784 Pf. erfordert. *) Wird in der Ausübung ⅐ an Wasser verloren, und muß die Kraft der Reibung wegen um ⅕ größer seyn, so würde demnach

---

*) Die reine hydraulische Last für 1 Kubikfuß ist immer $= ih$, wenn i den räumlichen Inhalt des Hubs und h die ganze Höhe bezeichnet. Ist $i = \frac{3}{4}$ Kubikfuß und $h = 60'$, so ist die Last $= \frac{3}{4} \cdot 60 \cdot 70 = 3150$ Pf. Haben 20 Hübe per Minute statt, so liefert sie per Minute $20 \cdot \frac{3}{4} = 15$ Kubikfuß, und die Kraft per Sekunde ist = 1050 Pf. 1′ hoch. Ist der Hub von 2′, so macht der Kolben in 1 Sekunde $\frac{4}{3}'$; und erheischen beide Schübe dieselbe Kraft, so ist fortwährend eine Kraft $= \frac{1050}{\frac{4}{3}} = 787\frac{1}{2}$ Pf. mit der Geschwindigkeit von $\frac{4}{3}'$ oder eine von $393\frac{3}{4}$ mit $\frac{8}{3}'$ Geschwindigkeit nöthig (die Nebenlasten nicht mitgerechnet). Zieht der Kolben $\frac{4}{3}'$ per Sekunde, so ist der Hub (in $1\frac{1}{2}$ Sek.) $= \frac{3}{2} \cdot \frac{4}{3} = 2'$, und die Kolbenfläche $= \frac{\frac{3}{4}}{2} = \frac{3}{8}\,\square' = 54\,\square''$, und der Durchmesser $= \sqrt{69''} = 8'',3$.

obige Pumpe per Sekunde etwa 12 Pf. Wasser liefern und einer Kraft = 940 Pf. bedürfen.

Machte die Pumpe per Minute nur 15 Hübe zu 1′, so lieferte sie nur 3 Pf. Wasser per Sekunde, und eine Kraft von $^{940}/_{4}$ = 235 oder von 4 Mann (zu 60 Pf.) wäre hinreichend.

Häufig werden (so wie bei den Feuerspritzen) 2 Pumpen zugleich betrieben, so daß der eine Kolben abwärts gedrückt wird, während der andere hinaufgeht; und dann kommt natürlich das Gewicht desselben nicht in Betracht.

§. 732. Ferner hat man auch doppeltwirkende Druckpumpen.

Unter doppeltwirkenden Pumpen versteht man solche, die, obschon sie nur 1 Kolben und 1 Stiefel haben, dennoch kontinuirlich arbeiten, indem der Kolben sowohl beim Auf-, als beim Niedergange Wasser saugt und hinaufdrückt.

Die Einrichtung einer solchen Pumpe ist aus Fig. 350 ersichtlich. Zugleich wird dieselbe durch eine Kurbel in Bewegung gesezt.

a ist der Stiefel und b der Kolben, am besten ein elastisch-metallischer, der also nicht mit Hanf 2c. geliedert zu werden braucht. Der Stiefel steht in einem weitern Rohre c und bei d und e durch Oeffnungen mit diesem in Verbindung. In dem obern Boden f sind 2 Klappen 1, 2, und in dem untern g eben solche 3, 4. h ist die Saugröhre, die zu dem Unterwasser führt, i die Ausflußröhre.

Wird die Kurbel k gedreht, so geht die Zugstange c hin und her; und ebenso die Kolbenstange n, und zwar leztere ganz vertikal, da das Gelenk in einer Scheibe l angebracht ist, die zwischen den Leitern m lauft; n geht durch eine Stopfbüchse p.

Wie aus der Figur ersichtlich, ist der äussere Cylinder c in 2 nicht ganz kommunizirende Hälften getrennt, wovon die eine bloß durch d mit dem obern Theile des Stiefels, die andere durch e mit dem untern in Verbindung ist.

Geht also der Kolben abwärts, so wird die Klappe 4 geschlossen und das Wasser durch 2 aus dem untern Theile des Stiefels und dem damit verbundenen Theil von c herausgetrieben. Zugleich aber wird in dem andern Theile von c Wasser

eingesogen werden müssen, da die Klappe 1 sich schließen und die mit h in Verbindung stehende Saugklappe 3 sich öffnen muß. Offenbar geschieht das Umgekehrte, wenn der Kolben steigt, und anhaltend wirkt daher die Pumpe zugleich als Saug- und als Druckpumpe. *)

§. 733. Die Herstellung möglichst wirksamer Pumpen ist besonders für Bergwerke eine höchst wichtige Angelegenheit, zumal die meisten Gruben immer tiefer werden. In unzähligen muß das Wasser aus einer Tiefe von vielen hundert Fußen heraufgeschafft werden. Die Erfindung und Vervollkommnung der Dampfmaschinen, wodurch man zum Betrieb der mächtigsten Pumpwerke die erforderliche Kraft allein erhielt, war daher für den Bergbau von unendlichem Werth. Die Pumpwerke selbst sind aber zugleich wesentlich verbessert worden.

Musterhaft ist die Einrichtung der englischen. Die Röhren sind durchaus von Gußeisen; die Pumpsätze sehr hoch (an 200′ und darüber), so daß wenige hinreichen, und die Ventile sehr zugänglich, so daß sie leicht nachgesehen werden können. Außerdem wendet man jezt für die obern Sätze meist Druckwerke mit massiven Kolben (sogen. plungers) an und bronzene Stiefel. Diese Verbindung von Saug- und Druckwerken hat den Vortheil, daß das Gestänge beim Auf- und Niedergange arbeitet, und die massiven Kolben sind so dauerhaft, daß sie viele Jahre lang nicht die mindeste Reparatur erfordern. Da sie ferner durch eine Stopfbüchse gehen, so ist die Reibung nicht nur weit geringer, sondern die öftere Erneuerung der Liederung sehr leicht.

Aus Fig. 348 ist die Einrichtung eines solchen Satzes ersichtlich. a ist die Saugröhre, die in dem Sumpfe steht, in den die erste Pumpe das Wasser ausgießt, b der massive Stempel, der durch eine Stopfbüchse bei c geht. Geht b aufwärts, so füllt sich, indem i sich öffnet, der Stiefel d mit Wasser, wozu (da a nur kurz ist) wenig Kraft erfordert würde, wenn nicht das Gewicht des Gestänges zugleich gehoben werden

*) S. Polyt. Journ. 48. S. 250.

müßte. Beim Niedergehen von b wird das Wasser in die Steigröhre f getrieben, was, wenn diese 180′ hoch ist, sehr viele Kraft erforderte, wenn nicht das Gewicht des Gestänges sie unterstüzte. *) xx sind dicht anschließende Platten, die losgeschraubt werden, wenn man die Ventile besichtigen will.

Fig. 349 zeigt, wie auch eine Saugpumpe mit hohen Steigröhren und massiven Kolben eingerichtet werden mag. Geht der massive Stempel b abwärts, so muß Wasser durch die Saugröhre a in den Stiefel c steigen; und geht er aufwärts, so muß dieses in die Steigröhre d hinaufgetrieben werden. b wird durch zwei seitwärts angebrachte Stangen y in Bewegung gesezt. xx sind auch hier Thüren, durch welche man zu den Ventilen kommen kann.

14.

Von den Feuerspritzen.

§. 734. Die wichtigste Anwendung der Druckpumpe ist die als Feuerspritze. Von allen Wasserhebungsmaschinen können nur Druckpumpen zur Löschung brennender Gebäude dienen.

Beim Löschen kommt es nämlich darauf an, daß der brennende Körper so lange mit Wasser bedeckt werde, bis die Glut erstickt und der Körper etwas abgekühlt ist. Das Wasser wirkt hauptsächlich, insofern es vollkommen die Berührung der Luft hindert, die allein das Brennen unterhalten kann. Wird zu wenig Wasser auf einen glühenden Körper gegossen, so hat nicht nur diese Wirkung nicht statt, sondern die Wassertheile können dadurch selbst wohl in brennbare Gasarten verwandelt werden und das Feuer hiemit sogar noch verstärken.

---

*) Die Stangen müssen natürlich um so stärker seyn, da die Kraft nicht ziehend wirkt.

Damit daher eine Feuerspritze gute Dienste leiste, muß dieselbe das Wasser in einem ununterbrochenen Strahle von nicht zu geringer Dicke und zu jeder erforderlichen Höhe heraustreiben können. Zugleich wird aber eine zweckmäßige Richtung des Wasserstrahls erfordert, denn auch der stärkste Strahl wird wenig oder nichts leisten, wenn er bloß die Flamme oder solche Theile trifft, die alsobald wieder entzündet werden mögen.

Um einen anhaltenden Strahl zu erhalten, wird die Pumpe mit einem Windkessel versehen, und dieser muß eine bedeutende Größe haben, wenn die Spritze nur einen Stiefel hat. Die meisten größeren Feuerspritzen haben aber 2 Pumpstiefel.

§. 735. Die Einrichtung ist gewöhnlich im Wesentlichen folgende (Fig. 331):

Die Spritze steht, damit sie leicht überall hingebracht werden kann, auf einem 4rädrigen Wagen. a ist der Kasten (Spritzenkumm), in den das Wasser geschüttet wird. Soll die Spritze per Minute 15 — 20 Kubikfuß Wasser ausgießen, so muß der Kasten wenigstens 30 Kubikfuß enthalten. bb sind die Pumpstiefel und c der Windkessel, d die Kolben, deren Stangen an einem langen Hebel befestigt sind, an dessen Enden bei f an Querstangen oder an einer Gabel Männer arbeiten.*) Durch die Ventile g tritt das Wasser in den Stiefel, durch h in den Windkessel, durch i in die Steigröhre, deren Mündung mit einem konischen Spritzrohre k versehen ist.**)

*) Seit einigen Jahren hat man auch Dampffeuerspritzen, bei denen eine Dampfmaschine die Druckpumpen in Bewegung sezt.

**) Der Windkessel wirkt ungefähr so, wie der Regulator bei einem Gebläse (§. 323). Das Wasser wird zunächst in den Windkessel getrieben und dadurch die darin enthaltene Luft so lange comprimirt, bis ihre Elastizität dann das ausströmende Wasser bis zur verlangten Höhe zu treiben vermag. Er ändert an der erforderlichen Kraft nichts; in jeder Sekunde muß immer so viel Wasser eingepumpt werden, als ausströmt. Augenblickliche Unterbrechungen

Je höher der Strahl steigen muß, mit desto größerer Geschwindigkeit muß er aus dem Spritzrohre sich erheben. Angenommen, daß dieses nur um wenige Fuß über der Pumpe steht, so findet sich die Geschwindigkeit c per Sekunde $= \sqrt{4gh} = 62\frac{1}{2}$, wenn h die verlangte Höhe des Strahls ist.

Soll also der Strahl 50′ (rheinl.) hoch steigen, so ist (wenn $c = 15\frac{5}{8}'$)

$$c = \sqrt{62\frac{1}{2} \times 50} = \sqrt{3125} = 56'.$$

Soll er 60′ hoch gehen, so ist

$$c = \sqrt{62\frac{1}{2} \cdot 60} = \sqrt{3720} = 61'.$$

Soll er 80′ hoch steigen, so ist

$$c = \sqrt{62\frac{1}{2} \times 80} = \sqrt{5000} = 70'.$$

§. 736. Kennt man c, so findet sich leicht die Wassermenge, die ein Spritzrohr von gegebener Weite ausgießt, oder diese Weite, wenn die Wassermenge vorgeschrieben ist.

Hat die konische Mündung der Spritzröhre z. B. einen Durchmesser von 8‴, so ist die Sektion $= 0{,}785 \times 8 \times 8 = 50\frac{1}{4}\ \square''' = \frac{50\frac{1}{4}}{144 \times 144}\ \square'$.

Bei 56′ Geschwindigkeit per Sekunde gießt die Röhre also per Minute aus:

$$\frac{50\frac{1}{4} \times 56 \times 60}{144 \times 144} = 8\frac{1}{5} \text{ Kubikfuß.}$$

Oder fragt man umgekehrt, wie weit die Röhrenmündung seyn müsse, wenn sie bei 80′ Höhe 20 Kubikfuß per Minute (oder $\frac{1}{3}$ Kubikfuß per Sekunde) ausgießen soll, so findet sich (da in diesem Falle $c = 70$ ist)

$$\text{die Weite} = \frac{20 \times 144 \times 144}{70 \times 60} = 99\ \square'''$$

$$\text{und der Durchmesser} = \sqrt{\frac{99}{0{,}785}} = \sqrt{126} = 11\frac{1}{4}'''.$$

---

werden aber zunächst nur etwas die Spannung jener eingeschlossenen Luft und deßhalb nur unbedeutend die Höhe des Wasserstrahls ändern, während ohne Kessel dieser selbst augenblicklich unterbrochen würde.

Ungleich langsamer bewegt sich der Kolben; in demselben Verhältniß muß daher seine Fläche oder die Sektion des Stiefels größer seyn.

Die Geschwindigkeit des Kolbens hängt einerseits von der Geschwindigkeit der Arbeiter, anderseits von der Länge der Hebel ab. Ist jene = 5′ per Sekunde und fo 4mal länger als no, so hat der Kolben eine Geschwindigkeit von $\frac{5}{4}$′.

Ist die Geschwindigkeit des Wasserstrahls = 56′, so muß der Stiefel $\frac{56}{5/4}$ oder 45mal weiter seyn, oder der Durchmesser um

$\sqrt{45} = 6\frac{3}{4}$mal größer.

Alles dieses sezt aber voraus, daß der Kolben beständig drückte; da nun derselbe nur die Hälfte der Zeit abwärts geht, so werden 2 Pumpstiefel von obigen Dimensionen zur Erlangung jenes Wasserstrahls erforderlich; und eine Spritze, die fortdauernd per Minute $8\frac{1}{5}$ Kubikfuß mit einer Mündung von 8‴ Diam. 50′ hoch ausgießen soll, muß hiemit 2 Stiefel von $6\frac{2}{3} \times 8$‴ oder circa $4\frac{1}{3}$″ Diameter haben.

§. 737. Um endlich die Kraft zu berechnen, die eine Spritze erheischt, muß 1) in Betracht kommen, daß, nach den Gesetzen der springenden Wasser, zur Erzeugung eines zur Höhe h senkrecht sich erhebenden Wasserstrahls eine druckende Wassersäule nöthig ist, die $h + \frac{h^2}{300}$ hoch ist. 2) Daß wegen der Kolbenreibung die Kraft bei einer doppelten Pumpe um $\frac{1}{3}$ ungefähr vermehrt werden muß; und 3) daß hingegen die Kraft im Verhältniß der Hebellänge, an der sie wirkt, kleiner seyn darf.

Wir finden die nöthige Kraft daher also:

Gesezt, der Kolben habe $\frac{1}{4}$ □′ Fläche, und der Wasserstrahl eine senkrechte Höhe von 60, so ist die Druckhöhe

$$= 60 + \frac{3600}{300} = 72.$$

Das Maaß der drückenden Wassersäule = $\frac{1}{4} \times 72 = 18$ Kubikfuß, und die Reibung mitgerechnet = 24 Kubikfuß.

Ist aber der Hebelarm fo 4mal länger als no, so bedarf es 4mal weniger Kraft oder nur 6 Kubikfuß, und wiegt 1 Kubikfuß Wasser 60 Pf. also 6×60 oder 360 Pf.

Da nun an Feuerspritzen die Leute mit ungewöhnlicher Anstrengung arbeiten, so wie sie dann auch oft abgelöst werden, so kann man füglich annehmen, daß jeder Mann, obschon sein Arm mit 5′ Geschwindigkeit sich bewegt, beim Niederdruck eine Kraft von 30 Pf. ausübt. Obige Spritze würde demnach $\frac{360}{30}$ oder 12 Mann erfordern. *)

Noch ein Beispiel.

Eine Spritze habe 2 Stiefel von 6″ Weite und eine Gußmündung von 1″, so hat der Wasserstrahl 36mal größere Geschwindigkeit, als der Kolben.

Macht dieser 1′ per Sekunde, so hat der Strahl 36′ Geschwindigkeit

$$\text{und da } c^2 = 62\tfrac{1}{2}h\text{, also } h = \frac{c^2}{62\frac{1}{2}},$$

so muß der Strahl $\frac{36 \times 36}{62\frac{1}{2}}$ oder nur $20\frac{1}{2}$′ hoch steigen.

Soll also der Strahl höher gehen, so muß entweder die Geschwindigkeit des Kolbens vergrößert oder die Gußmündung verengert werden. In der That, ist diese um die Hälfte kleiner oder jene um die Hälfte größer, so hat der Strahl eine Geschwindigkeit von 36 + 18 oder 54′, und seine Höhe wird = $\frac{54 \times 54}{62\frac{1}{2}}$ oder = 47′.

In beiden Fällen wird nur eine größere Kraft erfordert.

---

*) Da für 60′ Höhe die Geschwindigkeit = 61′ per Sekunde seyn muß, der Kolben aber nur $\frac{5}{4}$′ macht, so muß die Gußröhre im Verhältniß von 61 : $\frac{5}{4}$′ oder 49mal enger seyn, oder der Durchmesser $\sqrt{49}$ oder 7mal kleiner als der des Kolbens. Ist also die Kolbenfläche = $\frac{1}{4}$ □′ oder 36 □″ und der Diameter hiemit = $6\frac{3}{4}$″, so muß die Gußmündung circa 1″ weit seyn.

§. 738. Verengt man bloß die Mündung und bleibt die Geschwindigkeit des Kolbens dieselbe, so wird gleich viel Wasser ausgegossen; allein es muß mit mehr Geschwindigkeit ausströmen. Bewegt man hingegen den Kolben schneller und bleibt die Mündung dieselbe, so muß das Wasser nicht nur schneller, sondern auch in größerer Menge ausströmen.

Je höher der Strahl geht, desto mehr Wasser wird ausgegossen, aber in größerem Maaße noch wird mehr Kraft nöthig.

Es ist daher rathsam, keinen übermäßig hohen Strahl zu erzeugen, und wenn Kraft genug vorhanden ist, eher durch Ansetzung einer weitern Gußröhre den Strahl zu verstärken. Jede Spritze muß also mit mehreren Gußröhren von verschiedener Weite versehen seyn, um je nach Bedarf einen höheren oder niedrigeren, und je nach der vorhandenen Kraft einen stärkern oder schwächeren Strahl zu erzeugen.

Vortheilhaft wird aber auch seyn, wenn die Geschwindigkeit des Kolbens modifizirt werden kann. Es ist dies, wenn gleich in engern Grenzen, möglich, wenn man die Hebelstange verkürzen oder verlängern kann. Die Mannschaft kann dann mit doppelter Geschwindigkeit arbeiten, ist fo aber nur 3 statt 5mal länger als no, so wird auch der Kolben nur 3 statt 5mal langsamer sich bewegen.

Macht der Arm der Arbeiter 5′ per Sekunde und steigt der Hebel jedesmal um 4′ (was am vortheilhaftesten scheint), so ergeben sich für jede Pumpe per Minute

$$\frac{5 \times 60}{8} \text{ oder } 37\tfrac{1}{2} \text{ Kolbenspiele,}$$

und ist fo 4mal länger als no, so beträgt die Höhe des Hubs gerade 1′.

Nach Karsten mag eine große Feuerspritze, von 16 Mann bearbeitet, deren Stiefel 6″ weit sind und deren Gußmündung $^3/_4$″ beträgt, etwa 14 Kubikfuß Wasser per Min. 76 — 80′ hoch spritzen.

Nach Obigem ist bei 80′ Höhe die Geschwindigkeit = 70′ per Sekunde; da nun die Mündung $^3/_4$″ Durchmesser hat,

so ist der Querschnitt $= {}^{11}/_{14} \cdot {}^{3}/_{4} \cdot {}^{3}/_{4} = {}^{4}/_{9}$ □″ $= {}^{1}/_{288}$ □′; und sie lieferte demnach in 1 Minute $70 \cdot 60 \cdot {}^{1}/_{288} = 14{}^{7}/_{16}$ Kubikfuß Wasser; was mit dieser Angabe sehr genau übereinstimmt.

Ferner wäre die Drucksäule $= 80 + \frac{80^2}{300} = 101'$ hoch; und da der Kolben ½′ Diameter oder circa ⅕ □′ Fläche hat, beträgt diese Säule $^1/_5 \times 101 = 20$ Kubikfuß.

Die nöthige Kraft also (die Reibung 2c. zu ⅓ gerechnet) $26^2/_3 \times 60 = 1650$ Pf. oder per Mann 100 Pf. in 1 Sek.

Damit endlich die Spritze 14 Kubikfuß per Minute liefert, muß der Kolben (bei einer Fläche von ⅕ □′) 5×14 oder 70 per Minute oder $^7/_6{}'$ per Sekunde zurücklegen; und arbeiten die Leute mit 25 Pf. Kraft und 4′ Geschwindigkeit, so wird der Hebelarm $\frac{6 \cdot 4}{7}$ oder etwa 3½mal länger seyn müssen, als die Entfernung der Kolbenstange vom Umdrehungspunkte.

§. 739. Bei allen obigen Berechnungsarten ist angenommen, daß die Spritzmündung der Pumpe nahe und der Strahl senkrecht ist.

Hat lezterer wie gewöhnlich eine schiefe Richtung, so kann er bei derselben Kraft etwa um $^1/_{10}$ oder $^1/_{12}$ höher steigen.

Ebenso ist die Totalhöhe bei derselben Kraft größer, wenn die Spritzröhre, wie dies zuweilen nöthig wird, mit einem langen Schlauche verbunden ist und das Wasser also größtentheils in dem Schlauche schon in die Höhe steigt. Spritzen müssen demnach auch mit solchen Schläuchen versehen seyn.

Wenn die Spritzen in nicht zu großer Entfernung von Brunnen, Teichen u. dgl. gebraucht werden, so läßt sich, um das Zutragen des Wassers zu ersparen, eine Einrichtung treffen, wodurch die Pumpe das Wasser selbst schöpft. Es wird nämlich durch einen Zubringer oder langen Schlauch, dessen Ende in den Wasserbehälter taucht, dieser mit der Spritze verbunden, und zwar so, daß jede Pumpe nothwendig beim Aufwärtssteigen Wasser aus dem Schlauche aufziehen muß. Es ist jedoch klar,

daß die Pumpe, die in diesem Falle als Saug- und Druckwerk arbeitet, mehr Kraft erfordert.

15.

Von der hydromechanischen Presse und der Wassersäulenmaschine.

A. Die hydromechanische Presse.

§. 740. Zu den merkwürdigsten Maschinen gehört die hydromechanische oder hydrostatische Presse, deren Wirkung vor bald 200 Jahren schon Pascal angegeben hatte, die aber in neuester Zeit erst von dem Engländer Bramah (1796) ausgeführt und also wirklich erfunden wurde.

Wie wir schon früher (§. 94) gesehen, kann eine geringe Menge Wassers in einer engen, aber hohen Röhre einen sehr bedeutenden Druck ausüben, wenn diese mit einem niedrigen und weiten Gefäße kommunizirt. Steht (Fig. 324) die Röhre A mit dem Cylinder B in Verbindung, so wird die Wassersäule a b, wenn sie nur 1 Pf. wiegt, gegen den Deckel c einen Druck von 100 Pf. ausüben, wenn B 100mal weiter ist, als A. Und dasselbe wird stattfinden, wenn in beiden Röhren Wasser vorhanden ist und bewegliche Kolben angebracht sind. Ein Druck von 1 Pf. auf den kleinern Kolben wird einen Druck von 100 Pf. auf den größeren erzeugen, wenn dieser eine 100mal größere Fläche hat. Klar ist jedoch, daß jene dann um 100''' herabgehen muß, damit dieser nur um 1''' steige. Diese Wirkung kommt hiemit ganz mit den Gesetzen des Hebels überein, und man könnte eine solche Vorrichtung auch einen hydraulischen Hebel nennen. Offenbar gewährt sie aber den Vortheil, daß weit leichter 2 Röhren von sehr ungleichem Querschnitt, als Hebel von so ungleicher Länge der Arme angewendet werden können.

Die Wirkung kann jedoch noch ungemein gesteigert werden, indem man ausserdem einen Hebel anbringt, um auf den kleinen Kolben zu wirken. Gesezt nämlich, der Kolben x (Fig. 325) werde mit Hülfe des Hebels pq herabgedrückt und pq sey 5mal länger als iq, so wird eine bei p mit 40 Pf. Kraft wirkende Kraft einen Druck von 2 Ztr. auf x hervorbringen, und dieser einen Druck von 200 Ztr. auf y, wenn y einen 100mal größeren Querschnitt hat, als x. Man sieht hieraus schon, daß diese im Grunde sehr einfache Vorrichtung geeignet ist, einen viele hundert, ja mehrere 1000mal größern Druck zu erzeugen.

§. 741. Da offenbar indessen in demselben Verhältnisse, als an Kraft gewonnen wird, der Weg, den der große Kolben macht, kleiner wird, so konnte diese Vorrichtung nur dadurch eine nützliche Anwendung gestatten, wenn eine beliebige Wiederholung der Operation möglich gemacht ist.

Es geschieht dies, indem man die engere Röhre mit einem Wasserbehälter o in Verbindung sezt und die Röhren mit den 2 Ventilen m und n versieht. So oft nämlich jezt x herabgedrückt wird, schließt sich m und öffnet sich n, so daß y steigen muß; so oft hingegen x wieder aufgezogen wird, schließt sich n so, daß y unverrückt bleibt, und öffnet sich m, so, daß die kleine Röhre sich aus o wieder mit Wasser füllt.

Gesezt also, der Arm bei p mache bei jedem Niederdrücken einen Weg von 20″ (240‴) und y steige nur um ½‴, so werden 100 Kolbenspiele y dennoch um 50‴ erheben, und hiemit eine Kraft von 50 Pf. einen nachhaltenden Druck von 240 Ztr. hervorbringen.

Nennt man d den Durchmesser der engen Röhre und D den des weiten Cylinders, und h den kürzern, H den längern Arm des Hebels, so verhält sich der Effekt zur Kraft wie $D^2H : d^2h$.

Oder ist $H = 15''$, $h = 3''$; $D = 16''$ und $d = 1''$, so verhält sich der Effekt zur Kraft wie

$$16 \times 16 \times 15 : 1 \times 1 \times 3 \text{ oder wie } 1280 : 1.$$

Eine besondere Einrichtung ist natürlich vorhanden, um, wenn die Pressung beendigt ist, das Wasser aus dem großen Cylinder wieder in den Behälter o zurückfließen zu lassen, so daß y wieder herabsinkt. Es geschieht dies z. B. durch eine Klappe z.

Da durch keine Presse eine so große Wirkung erzeugt werden kann, so wird die Presse des Bramah gegenwärtig sehr häufig und zu sehr verschiedenen Zwecken angewendet, *) besonders da sie zugleich sehr bequem ist und nur wenig Raum einnimmt. Es versteht sich indessen, daß alle Theile eine sehr große Festigkeit haben und sehr genau gearbeitet seyn müssen, so daß die Herstellung ziemlich theuer ist.

Ein Uebelstand ergibt sich in vielen Fällen daraus, daß gewöhnlich der Widerstand beim Pressen allmählich zunimmt, während das Verhältniß der Kraft sich nicht verändert. Einigermaßen hilft man sich dadurch, daß man 2 Druckröhren (eine engere und eine etwas weitere) anbringt und Anfangs mit lezterer, später aber mit der engeren arbeitet, oder daß man die Hebel ändert; denn andere Vorrichtungen, die zu einer stufenweisen Ausgleichung angegeben worden sind, scheinen sich nicht brauchbar erwiesen zu haben. **)

B. Die Wassersäulenmaschine.

§. 742. Unter diesem Namen versteht man eine von dem Berghauptmann Höll gegen die Mitte des vorigen Jahrhunderts erfundene Maschine, bei welcher ein Kolben durch den abwechselnd wirkenden Druck einer hohen Wassersäule in Bewegung gesezt wird.

Das Wesentlichste der Einrichtung besteht in Folgendem: (Fig. 327):

---

*) Eine hydrostatische Presse zum Aufziehen s. im polyt. Journ. B. 20. S. 504.

**) Eine Einrichtung s. im polyt. Journ. B. 20. Taf. 6.

Eine hohe Röhre ab kommunizirt mit einer kurzen oder einem Stiefel cd, in dem ein Kolben i befindlich ist. Am untern Theile der Röhre ist ein doppelt durchbohrter Hahn e, der, wie Fig. 326 zeigt, je nachdem er gestellt wird, eine Verbindung des Stiefels mit der Röhre ab, oder eine solche mit dem Rohre f herstellt. Wird nun die hohe Röhre ab beständig voll Wasser erhalten, der Hahn aber wechselsweise in die Stellung A oder B versezt, so muß abwechselnd der Kolben i steigen und sinken, denn bei der Stellung A wirkt der Druck der Wassersäule gegen die untere Kolbenfläche, so daß er hinaufgetrieben wird; bei der Stellung B hingegen hört diese Wirkung auf, und das Gewicht des Kolbens macht ihn sinken, indem nun das Wasser aus dem Stiefel durch f ausfließen kann.

Um nun durch diese Vorrichtung einen nüzlichen Effekt zu erhalten, wird die Kolbenstange k mit einer zweiten l verbunden, welche m treibt. Auf diese Weise wird es also möglich, wo ein hohes Gefälle vorhanden ist, vermittelst desselben irgend ein tieferes Wasser auf eine gewisse Höhe zu heben; und wirklich werden, zumal bei Bergwerken, dergleichen Wassersäulenmaschinen häufig angewendet. Es ist dann ein Mechanismus vorhanden, durch den der Hahn e zu gehöriger Zeit hin= und hergedreht wird.

§. 743. Wir bemerken noch Folgendes:

Da die Röhre ab oft 100 und mehr Fuß hoch ist, so müssen besonders die untern Stücke sehr stark und gut miteinander verbunden seyn. Der Hahn e muß, damit keine Luft eindringe, wagerecht mit dem tiefsten Stande des Kolbens i liegen. Geht kein Wasser verloren, so konsumirt jeder Pumpenzug so viel Wasser, als in den Raum geht, den der Kolben i durchläuft. Steigt er also 3′ hoch und ist seine Fläche $= \frac{2}{3}$ □′, so verbraucht jeder Hub $3 \times \frac{2}{3}$ oder 2 Kubikfuß Wasser.

Die Kraft, mit der die Wassersäule gegen den Kolben wirkt, ist $=$ i $\times$ ab; oder hat i $\frac{2}{3}$ □′ und ist ab 90′, so ist die Kraft $= 60 \times 70 = 4200$ Pf. Nicht diese ganze Kraft wird aber beim Aufzug des Kolbens l dienen können, denn ein

beträchtlicher Theil muß die Reibung und das Gewicht des Kolbens i und der oft sehr schweren Stange k überwältigen.

Der Niedergang erfordert nur sehr wenig Kraft, und ist das Gestänge schwer, so wird dieselbe leicht zu groß. Gewöhnlich wird daher k mit einem beschwerten Wagebalken x verbunden, der den Aufzug befördert und das Hinabgehen der Kolben dagegen verzögert.

16.

Vom Stoße des Wassers.

§. 744. Gewöhnlich wendet man mit Schaufeln besezte Räder an, um das Wasser als bewegende Kraft zu benützen. Diese Wasserräder können theils durch das Gewicht des Wassers, theils durch den Stoß desselben in Bewegung kommen.

Ehe wir die Lehre von den Wasserrädern, die durch den Stoß des Wassers in Bewegung gesezt werden, behandeln, ist es daher angemessen, einige Betrachtungen über den Stoß des Wassers anzustellen.

Empirisch läßt sich der Stoß eines fließenden Wassers gegen eine demselben Widerstand leistende Fläche ausmitteln, wenn man, wie Fig. 328, die Fläche a, gegen die das Wasser in der Richtung b stößt, durch ein Gewicht p, das in entgegengesezter Richtung zieht, unbeweglich erhält; oder wenn man Fig. 330 die an einem Winkelhebel cd befestigte Fläche a durch ein Gewicht p in der senkrechten Stellung erhält, während das Wasser in der Richtung b dagegen anstößt. Das erforderliche Gewicht wird die Größe des Drucks angeben. Der Druck wird desto größer seyn, je mehr Wasser in derselben Zeit gegen a anstößt und je größer die Geschwindigkeit desselben ist.

Theoretisch ergibt sich Folgendes:

Die Mechanik lehrt, daß, soll eine Wassermasse m sich mit der Geschwindigkeit c in 1 Sekunde bewegen, die bewegende Kraft $p = \frac{c}{2g}$ m gesezt werden kann. Eben so groß muß auch der Druck seyn, den eine von jener Masse gestoßene Fläche erleidet, wenn alle Theile der Masse und mit der Geschwindigkeit c anstoßen.

Ist nun diese sich bewegende Masse fließendes Wasser, wovon der Kubikfuß 70 Pf. wiegt, so muß bei einer Geschwindigkeit von c Fußen per Sekunde und eine Fläche von f □′, das Gewicht der in 1 Sekunde anstoßenden Wassermasse oder m = 70 fc seyn; und hiemit

$$p = \frac{c}{2g} 70\ fc = \frac{c^2}{2g} \cdot 70\ f.$$

Gesezt, c sey = 10′; f = 4 □′, so wäre (da hier 2g = 30)

$$p = \frac{100}{30} \times 280 = 933\tfrac{1}{3}\ \text{Pf.}$$

Nennt man h die jene Geschwindigkeit c erzeugende Fallhöhe, so ist

$$c = 2\sqrt{gh} \text{ und } c^2 = 4gh\ (= 60\,h).$$

Wir erhalten daher auch, wenn 4gh statt c^2 gesezt wird,

$$p = \frac{4gh}{2g} \times 70\ f = 2h \times 70\ f.$$

Ist also c = 10′ und f = 4 □′, so ist $c^2 = 60\,h = 100$ und $h = \frac{5}{3}$.

Daher wieder $p = \frac{10}{3} \times 70 \times 4 = 933\frac{1}{3}$.

§. 745. Die Erfahrung bestätigt diese Theorie, wofern nämlich, wie fast immer nöthig, in Anschlag gebracht wird, daß nicht die ganze Wassermasse zum Anstoß kommt oder daß die Geschwindigkeit nicht unverändert bleibt.

Stößt z. B. ein isolirter Wasserstrahl (Fig. 529) aus einer Oeffnung f eines Wasserbehälters gegen eine Fläche F, so wird, wenn leztere nicht viel größer als f ist, ein

bedeutender Theil abfließen, ohne einen Stoß auszuüben. Langsdorfs vielfache Versuche zeigen, daß der Druck nur dann $= 2h \times 70 f$ ist, wenn F einen 4mal größern Durchmesser hat, als der Strahl f; und daß er nur halb so groß ist oder $= h \times 70 f$, wenn beide Durchmesser gleich groß sind.

(Ebenso ist bekanntlich der Druck des Wassers gegen einen auf f liegenden Deckel $= h \times 70 f$.)

Steht eine Fläche in einem unbegrenzten fließenden Wasser, z. B. in einem Flusse, so erleidet sie ebenfalls einen geringern, und zwar nach Bossuts u. A. Versuchen nur den halben Druck (oder den von $\frac{c^2}{4g} \times 70$ f oder $h \times 70$ f), weil 1) viele Wassertheile, die in einer gewissen Entfernung schon abgelenkt werden, keinen Stoß bewirken, und 2) das Wasser auf der Rückseite der Fläche eine Gegenwirkung hervorbringt.

Stößt also z. B. ein Fluß, dessen Geschwindigkeit $= 6'$ per Sekunde ist, senkrecht gegen eine Fläche von 30 □′, so ist der Druck $= \frac{36}{60} \times 70 \times 30 = 1260$ Pf.

Noch anders sind die Verhältnisse, wenn das Wasser gegen eine weichende Fläche anstößt.

Weicht diese wie bei einem schwimmenden Körper, aber so geschwind, als das Wasser fließt, so ergibt sich offenbar gar kein Stoß.

Weicht der Körper aber mit geringerer Geschwindigkeit, so übt das Wasser zwar einen Stoß aus, allein es wirkt 1) nur mit dem Ueberschusse seiner Geschwindigkeit, und 2) kommen in demselben Verhältnisse weniger Wassertheile zum Stoße. Oder ist c die Geschwindigkeit des Wassers und v die des Körpers, so wird

$$p \frac{c - v}{2g} \times (c - v) \times 70 \text{ f.}$$

Da dieser Stoß indessen eben bei den Wasserrädern eintritt, so mögen die Wirkungen desselben im folgenden Abschnitt näher untersucht werden.

17.

Oberschlächtige Wasserräder.

§. 746. **Oberschlächtig** heißt ein Rad, wenn das Wasser von oben auffällt, und das Rad hauptsächlich durch das Uebergewicht des auf einer Seite auf die Schaufeln drückenden Wassers in Bewegung kommt.

Damit sich eine möglichst große Wassermasse auf den Schaufeln anhäufen kann, müssen diese eine besondere Konstruktion haben und **Zellen** bilden. Es geschieht dies, indem man entweder (Fig. 351) 2 Bretter a und b schief gegen einander stellt, diese an beiden Enden in einen Radkranz einpaßt und die innere Seite mit einem dritten Brette c verschließt; oder indem man die zellenförmige Schaufel aus einem starken, gebogenen Bleche verfertigt.

Bedient man sich gebrochener Schaufeln, so heißt das innere Stück a die Kropf-, das äussere b die Stoß- oder Setzschaufel. Von ihrer Konstruktion oder der Schaufelung hängt vorzüglich ab, ob das Rad möglichst lange das einfallende Wasser behält. Engere Zellen werden es nicht so leicht ausgießen. Man gibt daher dem Rade gewöhnlich wenigstens 3mal so viele Zellen, als es Fuße im Durchmesser hat, und den Stoßschaufeln eine starke Neigung. Der Abstand zwischen 2 Stoßschaufeln muß jedoch immer wenigstens so groß bleiben, als der Wasserstrahl dick ist, damit er ungehindert einströmen kann, und damit seitwärts kein Wasser verloren gehe, wird das Rad um 10 und mehr Zoll breiter als die Schutzöffnung gemacht.

Der Kropfschaufel gibt man bald eine senkrechte, bald eine schiefe Stellung und etwa $1/3$ des Kranzes zur Breite. Die schiefe ziehen Manche vor, weil dann die Stoßschaufel sich rechtwinklicht und daher leichter ansetzen läßt.

Wie übrigens die Zellen auch konstruirt seyn mögen, so werden sie doch immer, bevor sie den tiefsten Stand erreicht haben, Wasser ausschütten, und da dieses frei wegfließen muß,

wird das Rad das Unterwasser nicht berühren dürfen; das ganze Gefälle wird daher noch etwas höher seyn müssen, als das ganze Rad, wenn dieses frei hängt.

Um dieses Ausschütten (so viel möglich) zu verhindern, umgibt man zuweilen den untern Theil des Rades mit einem Mantel, und in diesem Falle kann dann auch das Rad einige Zoll tief in das Unterwasser tauchen.

Immerhin sieht man, daß sich oberschlächtige Räder nur da anbringen lassen, wo man ein beträchtliches Gefälle benutzen kann.

§. 747. Versuchen wir nun, den dynamischen Effekt dieser Räder zu bestimmen.

Offenbar hängt die Kraft zunächst von dem Gewichte der Wassermasse ab, die am Umfange des Rades oder in dem wasserhaltigen Bogen vertheilt ist. Ausserdem kann aber noch der Stoß des auffallenden Wassers zur Bewegung des Rades mitwirken.

Betrachten wir zuerst bloß den Druck des wasserhaltenden Bogens abc (Fig. 332), so ersieht man leicht, daß dieser auf das Rad dieselbe Wirkung hervorbringen muß, wie ein senkrechtes Wasserprisma sq, das mit dem Bogen die gleiche Höhe und den gleichen Querschnitt hat. Denn denkt man sich beide Säulen durch horizontale Schnitte in Schichten zertheilt, so wird allerdings die Schicht n mehr Wasser enthalten, als m; allein n wirkt auf das Rad nur in der Entfernung Co; m aber in der des Radius Cp; und da Co:Cp sich verhalten, wie die Schichte m und n, so müssen beide dieselbe Kraft ausüben.

Nennen wir also d die Höhe des vertikalen Prismas (das dem wasserhaltenden Bogen gleichkommt) und f den Querschnitt der Wassersäule (beides in franz. Fußen), so bezeichnet df die Masse des druckenden Wassers und 70 df den Druck in Pfunden, den das Wasser und zwar senkrecht auf das Ende des Radius ausübt.

Und ist v die Geschwindigkeit des Rades, so haben wir $70\, df \times v$ als das statische Moment des Wasserdrucks.

§. 748. Kennt man die Wassermenge oder m, die per Sekunde auf das Rad fällt, und die Geschwindigkeit des Rades, so ist leicht der (hier in Betracht kommende) Querschnitt f auszurechnen; denn $f = \frac{m}{v}$ (wofern nämlich alles Wasser in die Zellen fließt). In der That erhält das Rad per Sekunde 3 Kubikfuß Wasser, und hat es eine Geschwindigkeit von 6′, so müßte im Umfange des Rads der Querschnitt des Wasserstrahls $\frac{3}{6}$ oder $\frac{1}{2}$ □′ seyn.

Man kann daher $\frac{m}{v}$ statt f setzen, und das Gewicht des drückenden Prismas ist demnach $= 70\,d \times \frac{m}{v} = \frac{d}{v} \times 70\,m$, und das statische Moment auch $= v \times \frac{d}{v} \times 70\,m = d \times 70\,m$.

Da das Wasser beinahe am höchsten Punkte des Rades einströmt, so wäre d fast so groß als der Durchmesser des Rades anzunehmen; da jedoch bei freihängenden Rädern Wasser ausfließt, so wird, um dieses Verlusts Rechnung zu tragen, d nur zu $\frac{5}{6}$ oder $\frac{4}{5}$ des Diameters anzusetzen seyn.

Beispiel. Wie groß wird der Effekt eines Rades seyn, wenn bloß der Druck des Wassers wirkt und wenn per Sekunde 3 Kubikfuß Wasser auffällt und das Rad 15′ Diameter und eine Geschwindigkeit von 6′ hat?

Hier ist $d = 12$; $m = 3$; $v = 6$;

das statische Moment also $= 12 \times 70 \times 3 = 2520$.

Man sieht, daß (streng genommen) v gar nicht in Anschlag kommt, da $v \times \frac{d}{v}$ stets $= d$ ist.

§. 749. Auch bei den oberschlächtigen Rädern wirkt das auf die erste Schaufel fallende Wasser zugleich durch Stoß. Da gewöhnlich aber die Geschwindigkeit dieser Räder der des Wassers beinahe gleich kommt und überhaupt die Fallhöhe (bis auf jene erste Schaufel) nicht bedeutend ist, so kann in der Regel der Effekt, der von diesem Stoß herrühren mag, unbeachtet bleiben.

Bei beiläufiger Abschätzung des Nutzeffekts kann dieser $= \frac{2}{3}\,dm$ und $m = \frac{4}{7}\,cf \cdot (70)$ angenommen werden, wo d den Durch-

messer des Rades bezeichnet, c die Geschwindigkeit des Wassers und f den Querschnitt der Schutzöffnung.

Gesezt also, ein Rad sey 24′ hoch, die Geschwindigkeit des Wassers = 7′ per Sekunde und die Oeffnung 8″ tief und 24″ lang, so ist $f = \frac{2}{3} \times 2' = \frac{4}{3}$ □′.

$\frac{4}{7}\, cf = \frac{4}{7} \times 7 \times \frac{4}{3} = 5\frac{1}{3}$ Kubikfuß = m.

Das Gewicht also $= 70 \times 5\frac{1}{3} = 373\frac{1}{3}$ Pf. und der Effekt $= \frac{2}{3} \times 24 \times 373\frac{1}{3} = 5973$, oder die Pferdekraft zu 450 Pf. gerechnet

$$= \frac{5973}{450} = 13 \text{ Pferdekraft.}$$

18.

Unterschlächtige Wasserräder.

§. 750. Unterschlächtig heißt ein Wasserrad, wenn es an seinem Umfange mit Brettern oder Schaufeln versehen und so in ein fließendes Wasser gehängt ist, daß dieses gegen die untersten Schaufeln anstößt.

Sind die Schaufeln auf einem einzigen Kranze aufgesezt, so heißt das Rad ein Strauberrad. Sind sie zwischen zwei Radkränzen eingepaßt und von beiden Seiten also eingefaßt, so heißt es ein Staberrad. Sind die Schaufeln lang und an Speichen oder Armen befestigt, so heißt das Rad ein Pansterrad.

Wichtiger ist der Unterschied, ob das Rad frei im Wasser hängt, so daß dieses von allen Seiten abfließen kann, oder ob es eingeschlossen in einem Gerinne ist, so daß dessen Wände das Wasser seitwärts abzufließen hindern.

Die Gerinne unterscheidet man in Schnur- und Kropfgerinne. Bei den Schnur- oder Schußgerinnen geht der Abschuß-

boden (wie Fig. 353) unter dem Rade in gerader Richtung fort, bei den Kopfgerinnen ist er unter dem Rade mehr oder weniger gekrümmt (wie Fig. 354). Hat diese Krümmung eine beträchtliche Höhe, so wird das Rad zu einem halboberschlächtigen.

Viele freihängende Räder können wie die Schiffmühlräder mit dem Wasserstande steigen oder sinken, oder aber durch eine eigene Vorrichtung gehoben oder gesenkt werden. Leztere heißen Zug- oder Stockpanster.

Um den Wasserzufluß zu reguliren und gegen das Rad zu richten, bringt man vor diesem in dem Gerinne ein Schutzbret (vanne) an, und zwar entweder ein senkrechtes oder, um die Schutzöffnung der Radschaufel noch mehr anzunähern, ein schiefes.

In Fig. 353 bezeichnet die Linie aa den Wasserspiegel des Ober- und bb den des Unterwassers, ab den Abstand beider oder das ganze Gefälle; ac das Druckwasser, cd die Höhe der Schutzöffnung und ad den Wasserstand. cd muß natürlich immer kleiner seyn, als die Höhe der Schaufeln, weil das Wasser sonst über diese schlagen würde, und ebenso muß die Breite der Schutzöffnung nicht größer seyn, als die des Rades.

Die Entfernung des obern Niveaus von der Mitte der tiefsten Schaufel oder ae nennt man auch die Geschwindigkeitshöhe des anschlagenden Wassers.

§. 751. Die Schaufeln sind gewöhnlich ganz ebene Bretter, obschon etwas concave vortheilhafter seyn mögen; und bei Strauberrädern (nach Moroti und Christian) schmale Seitenränder nützlich zu seyn scheinen.

Entweder gibt man den Schaufeln eine gegen die Axe senkrechte Stellung (wie f), oder eine etwas schiefe (wie g). Die leztere ist vorzuziehen, weil die Schaufeln dann senkrecht wieder aus dem Wasser tauchen und so kein Wasser in die Höhe heben.

Das Rad erhält so viele Schaufeln, daß ihrer stets mehrere (4 — 5) zugleich in das Wasser tauchen; der Abstand muß jedoch immer groß genug seyn, daß das Wasser sich über die ganze

Schaufel verbreiten kann. (Größere Räder haben meist so viele Schaufeln ungefähr, als das Rad Fuße im Umfang mißt.)

Jede Schaufel darf höchstens zu $^2/_3$ ihrer Höhe in das Wasser eintauchen, weil dieses sonst leicht überschlägt und ein Theil desselben verloren ginge. Bei der Berechnung kommt also nur der eintauchende Theil als Höhe der Schaufel in Anschlag.

Tauchte gleichzeitig nur eine Schaufel ein, so wäre der Stoß des Wassers nicht fortwährend ein senkrechter, und der gestoßene Theil bald größer, bald kleiner. Tauchen aber stets mehrere Schaufeln zugleich ein, so muß die Gesammtwirkung so ziemlich der gleich kommen, die das Wasser auf eine Schaufel ausübt, die stets in der günstigsten Stellung bliebe. *)

Zu berücksichtigen ist hingegen, daß auch in der tiefsten Stellung keine Schaufel den Boden des Gerinnes berührt, und daß hiemit etwas Wasser immer ohne Wirkung abfließt oder verloren geht. Berechnet man also die Wassermenge aus der Höhe der Schutzöffnung, so muß davon der Abstand der Schaufel vom Abflußboden abgezogen werden.

Offenbar muß endlich auch das Wasser, das zwischen dem Rad und den Seitenwänden des Gerinnes durchfließt, verloren gehen; gewöhnlich kann dieses aber, als zu unbedeutend, vernachlässigt werden.

§. 752. Untersuchen wir nach diesen Erläuterungen nun, welches der Effekt oder das mechanische Moment eines unterschlächtigen Wasserrades unter gegebenen Verhältnissen seyn mag, und zwar vorerst bei einem geschlossenen und geraden Gerinne.

*) Es läßt sich auch streng beweisen, daß in diesem Falle die Schiefe der vorstehenden Schaufeln den Effekt nicht schwächt, indem derjenige Punkt der schiefen Schaufel, den derselbe Wasserfaden trifft, gerade um so viel weiter vom Centrum des Rades absteht, als der der senkrechten, den er stoßen würde.

Wie immer, wird das mechanische Moment durch das Produkt der Kraft in die Geschwindigkeit ausgedrückt. Heißt P also die Kraft, die fortwährend die Radschaufeln in 1 Sekunde erhalten, und v die Geschwindigkeit, mit der sie sich bewegen, so ist das mechanische Moment $= Pv$.

Wäre $P = 200$; $v = 3$: so ist das Moment $= 600$.

Es ist demnach P und v zu bestimmen.

In einem geraden Gerinne wirkt das Wasser bloß durch den Stoß; ist es geschlossen und tauchen gleichzeitig immer mehrere Schaufeln ein, so ist anzunehmen, daß alle Wassertheile auf die Schaufeln wirken; und es wäre nach $P = \frac{c}{30} \times m$ und das Moment oder $Pv = \frac{cc}{30} \times m$; wenn nämlich die Schaufeln den ganzen Stoß des Wassers erlitten und zugleich mit der Geschwindigkeit c wichen.

Wäre z. B. der Querschnitt des ausfließenden Wassers oder $q = 2\ \square'$, die Geschwindigkeit oder $c = 6'$, so wäre die anstoßende Wassermasse oder die Kraft dieses Wasserstrahls $m = 70\ qc = 840$ Pf. Wasser; $P = \frac{6}{30} \times 840$ oder 168, und $Pv = 6 \times 168 = 1008$.

Es ist indessen klar, daß dieses Resultat nicht stattfinden kann, denn allerdings müssen die Schaufeln weichen, weil sonst keine Bewegung erhalten würde, und allerdings geschieht dies in Folge des Stoßes; indem sie aber weichen oder dem heranfliessenden Wasser entfliehen, muß unstreitig das Wasser mit minderer Geschwindigkeit anstoßen.

Und ausserdem wird nicht q oder der ganze Querschnitt des Wasserstrahls, sondern nur f oder die eintauchende Fläche der Schaufel in Rechnung zu bringen seyn.

Nennen wir c die Geschwindigkeit des zufließenden Wassers und v die der Radschaufeln, so wird $c - v$ die des anstoßenden

Wassers oder die wirksame seyn, und die Masse des anstoßenden nicht c q, sondern c f oder m = 70 c f.

Es wird demnach

$$P = \frac{c - v}{2g} \times m \text{ und}$$

das mechanische Moment $= \frac{c - v}{2g} \times vm = \frac{cv - v^2}{2g} \times m.$

Es sey z. B. f = 1,8; c = 6; v = 4, so ist m oder 70 cf = 756.

$$P = \frac{2}{30} \times 756 \text{ oder } 50\tfrac{2}{5}$$

und das Moment = 201 3/5.

Aus dem Vorstehenden erhellt also, daß bei weitem nicht die ganze Kraft des Wassers auf die Schaufeln übergehen kann; und es liegt dies auch in der Natur der Sache, denn mit derselben Geschwindigkeit v, mit der jene weichen, wird auch das Wasser nach dem Stoß abfließen und deßhalb eben Bewegungskraft beibehalten müssen. Ein Theil der Wasserkraft muß hiemit für den Effekt nothwendig verloren gehen.

Es entsteht nun die wichtige Frage, bei welchem Verhältniß von v zu c der Effekt oder das mechanische Moment am größten sey. Daß dieses Verhältniß nicht gleichgültig sey, erhellt schon daraus, daß das Moment ganz verschwindet, wenn wir v = c oder = o setzen.

Ist nämlich v = o, so wird $P = \frac{c}{2g} m$; aber Po = P × o = o, und in der That bezeichnet dies den Fall, daß die Schaufeln zwar den vollen Stoß des Wassers erleiden, jedoch nicht in Bewegung kommen; und in diesem Falle würde auch gar kein Effekt erhalten.

Und ist hingegen v = c, so würde $P = \frac{c - c}{2g} m = o$ und hiemit auch P v = o. Wirklich müßte in diesem Falle auch das Wasser mit unveränderter Geschwindigkeit abfließen und daher keine bewegende Kraft abgeben können; und in der That nimmt

ein Rad, das wir, z. B. um die Geschwindigkeit des fließenden Wassers zu messen, in dasselbe setzen, nur dann die gleiche Geschwindigkeit an, wenn es so viel als gar keine Last zu überwinden hat.

Es muß hiemit v immer kleiner als c seyn; da v indessen eben so wenig = o werden darf, so ist schon daraus zu vermuthen, daß das Maximum des Effekts sich ergeben wird, wenn $v = \frac{1}{2} c$ ist, und wirklich lehren dies nicht nur genauere theoretische Untersuchungen, in die wir uns hier nicht einlassen können, sondern auch die sorgfältigsten Beobachtungen.

Es ergibt sich dies endlich auch, wenn wir verschiedene Werthe für v in die obige Formel setzen.

Ist $c = 10$ und $v = 5$,
so ist $P = \frac{5}{30} \times m$ und der Effekt $= \frac{25}{30}$ m.

Ist $c = 10$ und $v = 3$,
so ist $P = \frac{7}{30}$ m und der Effekt $= 3 \times \frac{7}{30} = \frac{21}{30}$ m.

Ist $c = 10$ und $v = 7$,
so ist $P = \frac{3}{30}$ m und der Effekt $7 \times \frac{3}{30} = \frac{21}{30}$ m.

Also immer kleiner als wenn $v = \frac{1}{2}$ c.

Statt c kann $2\sqrt{gh}$ gesezt werden. Ist also $v = \frac{1}{2} c$, so ist $v = \sqrt{gh}$ (wo h die zu c gehörige Druckhöhe bezeichnet).

Die Formel $Pv = \frac{c - v}{2g} \times vm$ wird daher zu $= \frac{\sqrt{gh}}{2g} \times \sqrt{gh} \times m = \frac{gh}{2g} \times m = \frac{1}{2} hm$.

Bei Rädern, die in einem unbegrenzten Wasser stehen, also bei Schiffmühlenrädern z. B., ist nach Obigem der Druck oder Stoß des Wassers unter gleichen Umständen gerade für halb so groß, als bei Rädern in Gerinnen anzunehmen; und also

$$P = \frac{c - v}{4g} \times m \text{ und } Pv = \frac{c - v}{4g} \times mv.$$

Bei Rädern endlich in Kropfgerinnen kommt zu dem Stoße des Wassers noch das Gewicht desselben in dem wasserhaltenden Bogen. Der Stoß ist derselbe wie in geraden Gerinnen, oder $= \frac{c-v}{2g}$ m.

Der Druck des im Kropfe enthaltenen Wassers aber ist (wie wir später sehen werden) gleich dem Gewicht einer Wassersäule, welche die vertikale Höhe des Kropfes oder k zur Höhe und $\frac{cf}{v}$ zum Querschnitt hat. (Es läuft nämlich das Wasser mit der Geschwindigkeit c in den Kropf, bewegt sich aber zwischen der Schaufel nur mit der von v.)

Demnach ist das Gewicht $= k \times \frac{70\,cf}{v} = \frac{m}{v} \times k = \frac{k}{v} \times m$, und die ganze Kraft oder

$$P = \frac{c-v}{2g} \times m + \frac{k}{v} \times m = \left(\frac{c-v}{2g} + \frac{k}{v}\right) m.$$

19.

Vom Stoßheber.

Wird, wenn Wasser durch eine Röhre läuft, der Ausfluß desselben plötzlich gehemmt, so übt die unterste Wassermasse gegen die andringende eine rückwirkende Kraft oder einen Rückstoß aus. Auf diese Wirkung gründete Montgolfier eine sinnreiche Vorrichtung, um Wasser zu zwingen, in die Höhe zu steigen. Man nennt dieselbe den hydraulischen Widder oder Stoßheber.

Diese Maschine besteht aus einer schiefliegenden Röhre a b (Fig. 332), deren höheres Ende a mit einem Wasserbehälter A (oder Flusse) in Verbindung ist und deren unteres eine Oeffnung mit einwärts gehender Klappe c hat. Eine zweite Klappe d

führt in einen Windkessel f, in dem die Steigröhre h steht, durch welche das Wasser gehoben werden soll. Haben die Röhren und Klappen die geeigneten Dimensionen und die leztere ausserdem die gehörige Schwere, so ergibt sich Folgendes:

Ist die Klappe d zu und fließt alles Wasser durch c aus, so bewirkt der Stoß desselben, daß c sich schließt und den Ausfluß hemmt. Dann aber hat ein Rückstoß statt, und in Folge desselben hebt sich die Klappe d und dringt Wasser in f, bis der Druck der Luft d wieder schließt. So wie jedoch der Rückstoß des Wassers gewirkt, sinkt oder öffnet sich die Sperrklappe c wieder, und so ergibt sich abwechselnd Ausfluß von Wasser durch c und ein Eindringen desselben in f. Das leztere aber muß auch in der Röhre h deßhalb steigen und bei i abfließen, wenn auch i 5 und mehrmal höher als A über c liegt.

Diese Vorrichtung kann hiemit, wiewohl ein beträchtlicher Theil des Wassers durch b abfließen muß, doch ein ansehnliches Quantum und zu einer bedeutenden Höhe heben, und zeigt sich in manchen Fällen sehr vortheilhaft.

Inhalt.

Erster Band.

Seite

Einleitung 1

Erste Abtheilung. Elementarischer Abriß der Physik überhaupt.

Erster Abschnitt. Von den allgemeinen Eigenschaften der Körper 9

Größe. Materie. Theilbarkeit. S. 12. Beweglichkeit. Attraktionskraft und Schwere. S. 15.

Zweiter Abschnitt. Wirkungen der Cohäsionskraft . 19

Cohärenz der festen Körper. S. 21. Cohäsion zwischen verschiedenen Körpern. S. 26.

Dritter Abschnitt. Von der Bewegung im Allgemeinen 32

Vierter Abschnitt. Vom Gleichgewicht und der Bewegung der festen Körper 44

Fünfter Abschnitt. Erscheinungen fallender Körper . 53

Vom freien Fall. S. 53. Fallen auf schiefen Flächen. S. 59. Pendel-Bewegungen. S. 61. Bewegung geworfener Körper. S. 65.

Sechster Abschnitt. Von den tropfbar-flüssigen Körpern 70

Specifisches Gewicht. S. 78.

Siebenter Abschnitt. Von den elastischen Flüssigkeiten und der atmosphärischen Luft 83

Barometer. S. 87. Luftpumpe. S. 95. Compression. S. 96.

Achter Abschnitt. Von den tönenden Bewegungen. Akustik 98

Schallbewegungen der Luft. S. 105. Mittheilung des Schalls. S. 109.

Seite

Neunter Abschnitt. Von der Wärme . . . 116
Vorbereitung der Wärme. S. 118. Ausdehnung durch die Wärme. S. 121. Thermometer. S. 126. Wärme=Capacität. S. 128. Latente Wärme. S. 130. Erzeugung von Wärme und Kälte. S. 132. Schmelzen. S. 136. Dampfbildung und Sieden. S. 137.

Zehnter Abschnitt. Vom Lichte. Optische Phänomene 144
Körper, die Licht entwickeln. S. 145. Fortpflanzung des Lichts. S. 149. Brechung. S. 153. Zurückwerfung. S. 157. Entstehung der Farben. S. 162. Erklärung des Sehens. S. 165.

Elfter Abschnitt. Von der Elektricität . . . 171
Elektrisirmaschine. S. 174. Theorie der Elektricität. S. 179. Verstärkte Elektricität. S. 181. Elektrophor. S. 183. Elektricität des Luftkreises. S. 185.

Zwölfter Abschnitt. Vom Galvanismus . . . 191
Voltaische Säule. S. 192.

Dreizehnter Abschnitt. Vom Magnetismus . . 198
Theorie. S. 203. Kompaß. S. 205. Inklination. S. 206.

Zweite Abtheilung. Specielle Physik in industrieller Beziehung.

Erster Abschnitt. Von einigen allgemeinen Eigenschaften 211
Einfluß der Porosität. S. 211. Zertheilung der Körper in die kleinsten Theile. S. 214. Benutzung der Dehnbarkeit. S. 216. Ungleiche Festigkeit. Absolute Festigkeit. S. 219. Relative. S. 222. Rückwirkende. S. 224.

Zweiter Abschnitt. Erläuterungen aus der Hydrostatik 226
Ungleiches Gewicht der Körper. S. 226. Gewichts=Verlust in Wasser getaucht. S. 229. Aräometer. S. 230. Artesische Brunnen. S. 234. Einfluß des Luftdrucks. S. 235. Heber. S. 237. Von Gasometern. S. 240.

Dritter Abschnitt. Erläuterungen aus der Lehre von der Luft 243

Seite

Anwendungen des Barometers. S. 243. Gebrauch der Luftpumpe. S. 249. Compressionspumpe. S. 251. Luftverdichtung durch Wasserdruck. S. 252. Grundsätze der Pneumatik. S. 253. Von den Gebläsen. S. 256.

Vierter Abschnitt. Industrielle Wärmelehre . . 264

Wirkungen der Ausdehnung fester Körper. S. 264. Ausdehnung der Flüssigkeiten. S. 268. Heizkraft der Brennmaterialien. S. 270. Bedarf an Luft. S. 274. Benutzbare Wärme. S. 276. Vorrichtungen zum Kochen. S. 279. Mit Dampfdruck. S. 282. Mittelst heißer Flüssigkeiten. S. 283. Bewegungen der erwärmten Luft. S. 286. Rauchfang. S. 287. Ventilation. S. 291. Anwendung des Gefrierens zur Concentration. S. 293. Wirkungen der Luftfeuchtigkeit. S. 294. Physik der Zimmerheizung. S. 297. Heizmethoden. S. 299. Kamine. S. 300. Oefen. S. 301. Luftheizung. S. 303. Dampfheizung. S. 305. Anwendung des Dampfes zum Kochen. S. 308. Abdampfer. S. 312. Anwendung zum Trocknen. S. 313. Zum Concentriren. S. 315. Zur Erzeugung von Kälte. S. 316. Destillation. S. 318. Kühl-Apparate. S. 321. Condensirung des Dampfes. S. 323. Erzeugung des Wasserdampfes. S. 327. Benutzung seiner Expansivkraft. Dampf-Maschinen. S. 333.

Fünfter Abschnitt. Erläuterungen aus der Lehre vom Lichte 338

Von den Feuerzeugen. Chemische. S. 339 u. a. Beleuchtungskunst. S. 342. Mit festen Stoffen. S. 343. Mit Oel. S. 345. Lampen. S. 349. Oelbehälter. S. 350. Sicherheitslampen. S. 353. Gasbeleuchtung. S. 354. Durchsichtigkeit der Körper. S. 356. Gebrauch der Spiegel. S. 358. Ebene. S. 360. Hohlspiegel. S. 363. Mikroskope. S. 365. Teleskope. S. 367. Camera obscura. S. 368. Zauberlaterne. S. 370.

Zweiter Band.

Seite

Dritte Abtheilung. Industrielle Mechanik.

Einleitung 3

I. Allgemeine Mechanik.

Erster Abschnitt. Von den bewegenden Kräften . . 9
Vom Menschen. S. 10. Pferdekraft. S. 14. Gewichte. S. 16. Federkraft. S. 17.

Zweiter Abschnitt. Einfluß des Schwerpunkts auf die Bewegungen 20
Stabilität. S. 22. Vertheilung einer Last. S. 25.

Dritter Abschnitt. Mechanische Potenzen . . . 29
Hebel. S. 30. Rolle. S. 32. Wellrad und schiefe Fläche. S. 34. Schraube. S. 35. Keil. S. 36.

Vierter Abschnitt. Von den vornehmsten Organen der Maschinen 38
Transmissions=Organe. Verzahnte Räder. S. 39. Das Seilrad. S. 42. Schrauben ohne Ende. S. 43. Kurbel. S. 43. Daumwelle. S. 46. Excentrische Scheiben. S. 48. Seile ꝛc. S. 44. Regulirende. Das Schwungrad. S. 51. Das Sperrrad. S. 53. Pendel. S. 54. Konisches Pendel. S. 57. Konische Wellen. S. 58. Krumme Flächen. S. 59.

Fünfter Abschnitt. Hindernisse der Bewegung . . 61
Von der Reibung. S. 62. Widerstand des Mittels. S. 68.

II. Angewandte Mechanik oder Maschinenlehre.

Erster Abschnitt. Von den hebelartigen Werkzeugen . 79
Ungleicharmige Hebel. S. 79. Zusammengesezte Hebel. S. 83.

Zweiter Abschnitt. Wagen 86
Gemeine. S. 87. Römische. S. 89. Kunstwagen. S. 90. Brückenwage. S. 91. Zeigerwagen. S. 92.

Dritter Abschnitt. Anwendung der Rollen . . 95
Flaschenzüge. S. 97.

Vierter Abschnitt. Seilräder 99
Besondere Arten von Seilzügen. S. 106.

Seite

Fünfter Abschnitt. Räderwerke 109
Construktion. S. 114. Uhrwerke. S. 118. Ausrückungen. S. 120. Verzahnte Stangen. S. 123. Wagenwinden. S. 125.

Sechster Abschnitt. Von den Häspeln und Winden . 126
Horn- und Kreuzhaspel. S. 128. Laufrad. S. 129. Winden. S. 131. Göpel. S. 133. Endwinde. S. 135. Gegenwinde. S. 136. Von den Krahnen. S. 137.

Siebenter Abschnitt. Von Rollwalzen und Walzwerken 141
Rollwalzen. S. 141. Walzwerke. S. 143. Zum Fortziehen. Zum Auspressen. S. 144. Zum Glätten. S. 145. Zum Dehnen. S. 146. Zum Zerschneiden. S. 147. Bedrucken. S. 147. Zum Zerkleinern. S. 148. Zum Auseinanderziehen. S. 149. Zum Aufwickeln. S. 149.

Achter Abschnitt. Von den Fuhrwerken . . . 151
Widerstand. S. 154.

Neunter Abschnitt. Schiefe Fläche und Keil . . 163
Schiefe Wege. S. 164. Keile. S. 168.

Zehnter Abschnitt. Von den Schrauben . . . 171
Prägmaschinen. S. 175. Leitschrauben. S. 177. Vermehrung der Kraft durch Schrauben. S. 180. Schraube ohne Ende. S. 182. Zahlen. S. 185.

Elfter Abschnitt. Sperr- und Stoßräder . . . 185
Bretsäge. S. 186. Stoßrad an Webstühlen. S. 189. An Uhren. S. 191.

Zwölfter Abschnitt. Organe zur Umwandlung rotirender Bewegungen in hin- und hergehende 193
Kurbelwelle. S. 193. Kurbelscheiben. S. 196. Daumwellen. S. 198. Excentrische Scheiben. S. 199.

Dreizehnter Abschnitt. Maschinen, bei denen der Stoß fallender Körper wirkt 200
Rammen. S. 202. Kunstrammen. S. 204. Stampfwerke. S. 206. Stampfhammerwerke. S. 210. Hammerwerke. S. 211.

Vierzehnter Abschnitt. Verwendung federnder Körper 214

Vierte Abtheilung. Industrielle Hydraulik.

Erster Abschnitt. Druck, den Wasserröhren erleiden, und nöthige Stärke derselben 225

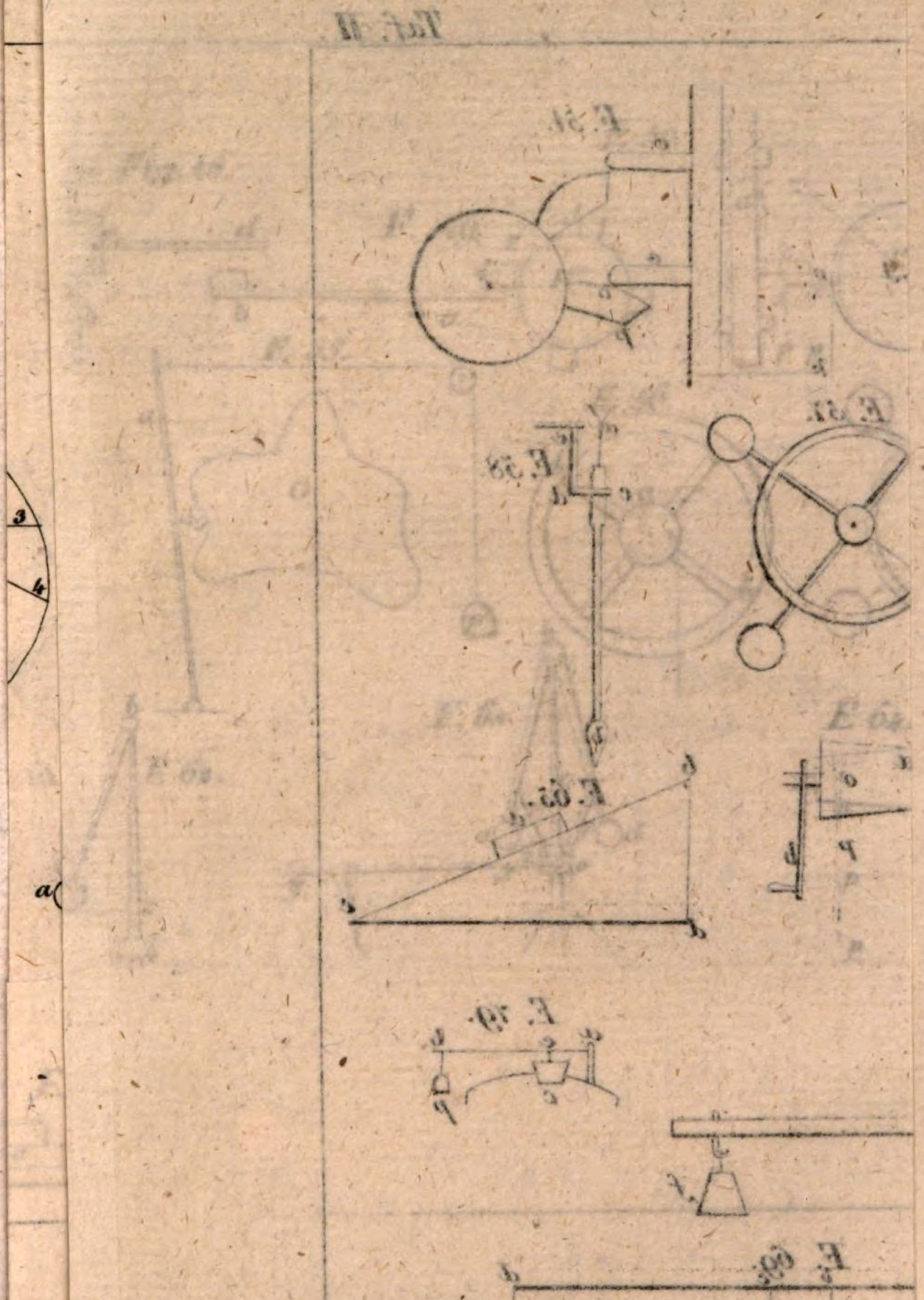
Bayerische Staatsbibliothek München

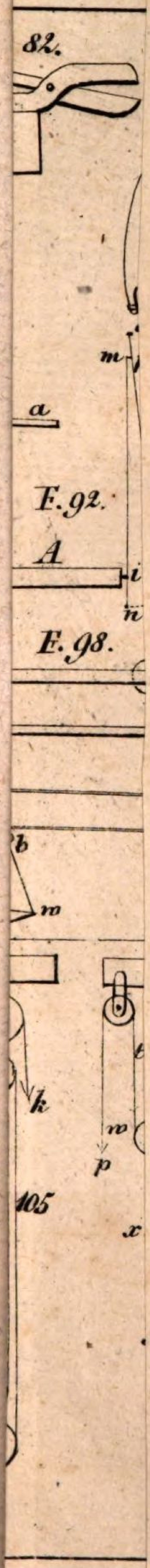
Seite

Zweiter Abschnitt. Verhalten und Bewegung schwimmender Körper 226
Dritter Abschnitt. Ueber den Wasserzug eines Schiffes 230
Vierter Abschnitt. Widerstand, den ein schwimmender Körper zu überwinden hat 231
Fünfter Abschnitt. Bewegung des Wassers in Flußbetten 235
Sechster Abschnitt. Ausfluß des Wassers aus Oeffnungen 243
Siebenter Abschnitt. Ausfluß aus einer oben offenen Oeffnung 250
Achter Abschnitt. Ausfluß aus Gefäßen ohne Zufluß . 252
Neunter Abschnitt. Ausfluß in andere Behälter . 255
Zehnter Abschnitt. Bewegung des Wassers in langen Röhren 258
Elfter Abschnitt. Vorrichtungen, um mechanisch das Wasser zu heben 263
Eimer. S. 263. Schaufelwerke. S. 264. Scheibenwerke. S. 266. Kastenwerke und Wurfräder. S. 267. Schneckenräder. S. 268. Schöpfräder. Wasserschnecke. S. 269. Spiralpumpe. S. 271.
Zwölfter Abschnitt. Saug- und Druckpumpen . . 273
Saugpumpen. S. 274. Kunstsätze. S. 277. Nutz-Effekt. S. 280.
Dreizehnter Abschnitt. Von den Druckpumpen . . 281
Doppeltwirkende. S. 284. Bergwerkspumpen. S. 285.
Vierzehnter Abschnitt. Von den Feuerspritzen . . 286
Fünfzehnter Abschnitt. Von der hydromechanischen Presse 293
Wassersäulenmaschine. S. 295.
Sechzehnter Abschnitt. Vom Stoße des Wassers . 297
Siebenzehnter Abschnitt. Oberschlächtige Wasserräder . 300
Achtzehnter Abschnitt. Unterschlächtige Wasserräder . 303
Neunzehnter Abschnitt. Vom Stoßheber . . . 309

Bayerische Staatsbibliothek München

a
e
c
p
o
q
l
k
x




82.
m
a
F. 92.
A
i
n
F. 98.
b
w
k
w
p
105
x

F. 124
F. 125.
F. 131.
F. 138.
A
p
a
b
d
e

F. 165.

F. 181.
p
n
5.
b
b
9.
c
d

c
d
b
i
d
b
c
e
d

F. 24
x
c
a
F. 253.
a
b
q
p
F. 258.
b
a
d
b
f
i
d
c
i
F. 272.

p
n
F.319
e
f

F. 3
f
i
a

Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Bernoulli, Christoph,

Elementarisches Handbuch der industriellen Physik, Mechanik und Hydraulik

Bd.: Zweiter Band

Stuttgart ; Tübingen 1835

BHS II H 36-2
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10707499-4